

METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS FOTOMÉTRICO DE CUERPOS MENORES DESDE EL OAUTP

JUAN PABLO UCHIMA TAMAYO



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

Facultad de Ingenierías
Programa de Ingeniería Física
Pereira, Noviembre de 2018

METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS FOTOMÉTRICO DE CUERPOS MENORES DESDE EL OAUTP

Trabajo de grado presentado por

JUAN PABLO UCHIMA TAMAYO

COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO FÍSICO

DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO

MSc. Edwin Andrés Quintero S.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

Facultad de Ingenierías
Programa de Ingeniería Física
Pereira, Noviembre de 2018

Dedicatoria

*Dedicado a
Mis padres porque ellos siempre han hecho
posible que este sueño y pasión crezca.*

Agradecimientos

Agradezco a los miembros del Grupo de Investigación en Astroingeniería Alfa Orión por apoyarme en todas las noches de observación realizadas para la elaboración de éste proyecto, en especial al profesional investigador Jairo A. Aguirre, quien estuvo pendiente de cualquier dificultad técnica e instrumental y por todos aquellos consejos para mi vida profesional. Al director del proyecto MSc. Edwin Andrés Quintero, por creer y darme la confianza para este trabajo en el Observatorio Astronómico de la Universidad Tecnológica de Pereira; por su gestión y paciencia para la adquisición de los datos, también, por todas aquellas enseñanzas que marcaron gran parte de mi formación académica y personal; finalmente por seguir apoyando y contribuyendo a la astronomía desde la ciudad de Pereira.

Quiero resaltar a mi compañera del observatorio Luisa Fernanda Cardona, ya que fue una de las personas que más me ayudó a entender diferentes conceptos astronómicos y por explicarme IRAF para el procesamiento de las imágenes. Finalmente, a los profesores y compañeros que durante la carrera guiaron y apoyaron este proceso académico.

Resumen

Los asteroides son cuerpos rocosos y pesados que giran alrededor del Sol en regiones como la del cinturón de asteroides entre los planetas Marte y Júpiter, mientras que los cometas son cuerpos más livianos constituidos principalmente por hielo y agua que en su mayoría provienen de regiones exteriores al Sistema Solar. Estos dos hechos han servido de base para la construcción de los modelos que explican hoy en día el Sistema Solar. A pesar de lo anterior, recientemente se ha encontrado que muchos de los asteroides conocidos presentan actividad cometaria ó características de cometas en alguna fase de su existencia. La detección de este tipo de actividad cometaria actualmente se realiza con diferentes métodos como lo es la coma y la cola, las colisiones entre cuerpos, la observación en el infrarojo en la región 2.7 a 3.4 μm (ya que esta zona es asociada con el agua en forma de hielo y a los minerales que contienen hidroxilo), entre otros. Todas las técnicas requieren de telescopios con diámetros superiores a un metro. Ignacio Ferrín desarrolla la técnica de curvas de luz seculares (SLC), la cual presenta como ventaja el hecho de que es posible cuantificar el cambio real de brillo, por lo tanto lo hace óptima para observatorios medianos. En el año 2016, Ferrín crea el proyecto Asteroid Belt Comet, el cual busca identificar actividad cometaria en asteroides del cinturón principal. El Observatorio Astronómico de la Universidad Tecnológica de Pereira (OAUTP) fue convocado a participar en esta red internacional de trabajo. En este proyecto se desarrolló una metodología para la adquisición, el procesamiento de las imágenes y la construcción de las curvas de luz para 5 asteroides candidatos a actividad cometaria. Además, todos los datos generados por la metodología se enviaron a la base de datos ALCDEF, lo cual permite ampliar la información que hay acerca estos cuerpos. Finalmente, este trabajo permitió al OAUTP participar en una colaboración internacional, la cual trae como resultado la publicación de artículo científico donde estarán todos los resultados arrojados por este trabajo que es requisito para optar por el título de ingeniero físico.

Contenido

Resumen	V
Lista de Figuras	IX
Lista de Tablas	XIII
1 Introducción	1
1.1 Problema	1
1.2 Justificación	2
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo general	3
1.3.2 Objetivos específicos	3
1.4 Estado del arte	3
2 Análisis fotométrico de cuerpos menores	9
2.1 Adquisición de los datos	10
2.1.1 Preparación de los instrumentos	10
2.1.1.1 Ubicación	10
2.1.1.2 Telescopio	11
2.1.1.3 Detector	12
2.1.1.4 Cámara guía	13
2.1.1.5 Rueda de filtros	14
2.1.1.6 Planeación de la observación	14
2.1.1.7 Preparación de los instrumentos	16
2.1.1.8 Refrigeración	19
2.1.1.9 Enfoque	19
2.1.2 Adquisición de los datos	21
2.2 Procesamiento de los datos	22
2.2.1 IRAF	22
2.2.2 Fuentes y tipos de ruidos	23
2.2.3 Pre-procesamiento	24
2.2.3.1 Flat	24
2.2.3.2 Rayos cósmicos	25

2.2.3.3	Píxeles defectuosos	26
2.2.4	Fotometría	26
2.2.5	Tipos de fotometría	26
2.2.6	Procesamiento de datos fotométricos	27
2.2.6.1	Preparación del encabezado	27
2.2.6.2	Cálculo de masa de aire	30
2.2.6.3	Extracción del FWHM	31
2.2.6.4	Extracción de datos estadísticos	33
2.2.6.5	Configuraciones para la extracción de magnitudes instrumen- tales	33
2.2.6.6	Cálculo de las magnitudes instrumentales	35
2.2.6.7	Fotometría simultánea de más de una estrella	36
2.3	Construcción de curvas de luz	38
2.3.1	Catálogo APASS	40
2.3.2	ALCDEF	42
3	Resultados	45
3.1	Oosterhoff (1738)	45
3.2	Strasbourg (4690)	49
3.3	Phaethon(3200)	52
3.4	Tellervo(2717)	54
3.5	Norma(555)	58
3.6	Reporte ALCDEF	63
4	Conclusiones	69
5	Anexos	71
	Bibliografía	80

Lista de Figuras

2.1	Esquema general de la ejecución del proyecto.	9
2.2	Diagrama de la metodología para el manejo del telescopio del OAUTP. . . .	10
2.3	Edificio 13 donde se encuentra ubicado el Observatorio Astronómico de la Universidad Tecnológica de Pereira.	11
2.4	Telescopio Meade LX200 GPS de 16" del OAUTP.	12
2.5	Estructura óptica del telescopio Schmidt-Cassegrain para un modelo de 8". .	12
2.6	Cámara CCD SBIG STF-8300 XM	13
2.7	Cámara guía ST-i.	14
2.8	Diagrama de visibilidad exportado por StarAlt para la noche del 7 de Agosto de 2018, para los objetos en la lista a la derecha, desde la ubicación geográfica del OAUTP.	15
2.9	Montaje para la adquisición de datos desde el OAUTP.	16
2.10	TheSky software para la conexión del telescopio al computador.	17
2.11	Configuraciones de la opción observatorio	17
2.12	Conexión del telescopio a MaxinDL.	18
2.13	Configuraciones del header de una imagen en MaxinDL.	18
2.14	Configuraciones de la refrigeración de una imagen en MaxinDL.	19
2.15	Estrella desenfocada en MaximDL (Superior). Perillas del telescopio, la perilla 1 para aflojar el espejo y la perilla 2 para moverlo (Inferior).	20
2.16	Ejemplo de la configuraciones del foco fino de una imagen en MaxinDL. . . .	21
2.17	Enfoque de la cámara guía.	21
2.18	Diagrama de la metodología para el procesamiento de los datos.	22
2.19	Gráfica de PSF y ajuste, obtenida a través de la tarea imexamine.	32
2.20	Ubicación de las estrellas medidas y estimación de FWHM.	33
2.21	Apertura círculo verde, Annulus círculo azul y Dannulus círculo rojo.	35
2.22	Sección del archivo resultado de la extracción de magnitudes.	36
2.23	Archivo de coordenadas que se obtiene al ejecutar la tarea daofind.	37
2.24	Campo de estrellas con las coordenadas del archivo marcadas.	38
2.25	Diagrama de la metodología para el manejo del telescopio del OAUTP. . . .	39
2.26	Ejemplo de como se visualiza en Excel el archivo que genera IRAF, los datos rojos son los archivos que hay que extraer (Magnitud y error).	40
2.27	Catálogo APASS, en rojo los datos que hay que extraer magnitud y error .	41

2.28	Ejemplo de como calcular la magnitud real de las estrellas y el asteroide con la ecuación de la recta	41
2.29	Ejemplo de los datos para ingresar al código en Matlab.	42
3.1	Estrellas de control seleccionadas del catalogo APASS para Oosterhoff, el día 22-09-17.	46
3.2	Curva de luz obtenida para Oosterhoff, el día 22-09-17.	46
3.3	Curva de luz en función de la fase obtenida para Oosterhoff, el día 22-09-17.	47
3.4	Estrellas de control seleccionadas del catalogo APASS para Oosterhoff, el día 26-10-17.	47
3.5	Curva de luz obtenida para Oosterhoff, el día 26-10-17.	48
3.6	Curva de luz en función de la fase obtenida para Oosterhoff, el día 26-10-17.	48
3.7	Estrellas de control seleccionadas del catalogo APASS para Strasbourg, el día 13-12-17.	49
3.8	Curva de luz obtenida para Strasbourg, el día 13-12-17.	50
3.9	Curva de luz en función de la fase obtenida para Strasbourg, el día 13-12-17.	50
3.10	Estrellas de control seleccionadas del catalogo APASS para Strasbourg, el día 10-03-18.	51
3.11	Curva de luz obtenida para Strasbourg, el día 10-03-18.	51
3.12	Curva de luz en función de la fase obtenida para Strasbourg, el día 10-03-18.	52
3.13	Estrellas de control seleccionadas del catalogo APASS para Phaethon.	53
3.14	Curva de luz obtenida para Phaethon.	53
3.15	Curva de luz en función de la fase obtenida para Phaethon.	54
3.16	Estrellas de control seleccionadas del catalogo APASS para Tellervo, el día 12-03-18.	55
3.17	Curva de luz obtenida para Tellervo, el día 12-03-18.	55
3.18	Curva de luz en función de la fase obtenida para Tellervo, el día 12-03-18.	56
3.19	Estrellas de control seleccionadas del catalogo APASS para Tellervo, el día 13-03-18.	56
3.20	Curva de luz obtenida para Tellervo, el día 13-03-18.	57
3.21	Curva de luz en función de la fase obtenida para Tellervo, el día 13-03-18.	57
3.22	Estrellas de control seleccionadas del catalogo APASS para Norma, el día 10-03-18.	58
3.23	Curva de luz obtenida para Norma, el día 10-03-18.	59
3.24	Curva de luz en función de la fase obtenida para Norma, el día 10-03-18.	59
3.25	Estrellas de control seleccionadas del catalogo APASS para Norma, el día 12-03-18.	60
3.26	Curva de luz obtenida para Norma, el día 12-03-18.	60
3.27	Curva de luz en función de la fase obtenida para Norma, el día 12-03-18.	61
3.28	Estrellas de control seleccionadas del catalogo APASS para Norma, el día 16-04-18.	61
3.29	Curva de luz obtenida para Norma, el día 16-04-18.	62
3.30	Curva de luz en función de la fase obtenida para Norma, el día 16-04-18.	62

3.31	Ejemplo de los datos que se deben subir en formato archivo de texto a la base de datos ALCDEF.	63
3.32	Reporte de la bases de datos ALCDEF para Tellervo(2717).	63
3.33	Reporte de la bases de datos ALCDEF para Oosterhoff(1738).	64
3.34	Reporte de la bases de datos ALCDEF para Strabourg(4690).	65
3.35	Reporte de la bases de datos ALCDEF para Phaethon(3200).	66
3.36	Reporte de la bases de datos ALCDEF para Norma(555).	67

Lista de Tablas

5.1	Datos obtenidos a partir del procesamiento de 10 imágenes del campo del asteroide Oosterhoff, el día 22-09-17.	71
5.2	Datos obtenidos a partir del procesamiento de 8 imágenes del campo del asteroide Oosterhoff, el día 26-10-17.	71
5.3	Datos obtenidos a partir del procesamiento de 19 imágenes del campo del asteroide Strabourg, el día 13-12-17.	72
5.4	Datos obtenidos a partir del procesamiento de 9 imágenes del campo del asteroide Strabourg, el día 13-03-18.	72
5.5	Datos obtenidos a partir del procesamiento de 188 imágenes del campo del asteroide Phaethon.	77
5.6	Datos obtenidos a partir del procesamiento de 7 imágenes del campo del asteroide Tellervo, el día 12-03-18.	78
5.7	Datos obtenidos a partir del procesamiento de 9 imágenes del campo del asteroide Tellervo, el día 13-03-18.	78
5.8	Datos obtenidos a partir del procesamiento de 15 imágenes del campo del asteroide Norma, el día 10-03-18.	79
5.9	Datos obtenidos a partir del procesamiento de 10 imágenes del campo del asteroide Norma, el día 12-03-18.	79
5.10	Datos obtenidos a partir del procesamiento de 9 imágenes del campo del asteroide Norma, el día 16-04-18.	80

Capítulo 1

Introducción

1.1 Problema

Los asteroides son cuerpos rocosos, carbonáceos o metálicos más pequeños que un planeta y mayores que un meteoroides¹ que giran alrededor del Sol en regiones como la del cinturón de asteroides entre los planetas Marte y Júpiter; y más allá de Neptuno para el caso de los transneptunianos. Por otra parte los cometas son cuerpos más ligeros constituidos generalmente por hielo y agua que en su mayoría provienen de regiones exteriores al Sistema Solar. Además, los asteroides son más pesados que los cometas, esto se explica porque se encuentran más cerca del Sol, los cuales han servido de base para la construcción de los modelos que explican hoy en día el Sistema Solar. A pesar de lo anterior, recientemente se ha encontrado que muchos de los asteroides conocidos presentan actividad cometaria [1] ó características de cometas en alguna fase de su existencia [2]. El estudio de este fenómeno revolucionaría los modelos aceptados hoy en día para nuestro Sistema Solar, ya que implica que muchos de los cometas que deberían encontrarse en regiones exteriores habitan los cinturones de asteroides. La detección de este tipo de actividad cometaria actualmente se realiza con diferentes métodos como lo es la coma y la cola, las colisiones entre cuerpos, la observación en el infrarojo en la región 2.7 a 3.4 μm (ya que esta zona es asociada con el agua en forma de hielo y a los minerales que contienen hidroxilo), entre otros. Todas las técnicas mencionadas anteriormente requieren de telescopios con diámetros superiores a un metro, lo cual excluye de este tipo de estudio a observatorios semiprofesionales y aficionados que cuentan con telescopios de un tamaño inferior. En vista de esta problemática en el año 2017, Ignacio Ferrín introduce la técnica de curvas de luz seculares (SLC) [3], que permite la detección de actividad cometaria a partir de las observaciones fotométricas continuas del cuerpo celeste. Al tratarse de un análisis fotométrico esta técnica presenta como ventaja el hecho de que es posible cuantificar el cambio real de brillo independientemente de la distancia a la Tierra. Además, esta técnica permite crear redes de trabajo entre observatorios ubicados en diferentes partes del mundo, con equipos e instrumentación totalmente diferentes y por primera vez traba-

¹Un meteoroides es un cuerpo menor del Sistema Solar de aproximadamente, entre 100 μm hasta 50 m (de diámetro máximo).

jando con observaciones tomadas con telescopios menores a un metro de diámetro; lo cual hace posible la participación de observatorios semiprofesionales y aficionados en el estudio de este tipo de actividad. Durante el encuentro regional latinoamericano de la IAU 2016, Ferrín presentó el proyecto Asteroid Belt Comet que busca identificar actividad cometaria en asteroides del cinturón principal a partir de observatorios de todo el continente. Ya que el Observatorio Astronómico de la Universidad Tecnológica de Pereira (OAUTP) cuenta con el código de Minor Planet Center (W63), este fue convocado a participar en esta red internacional de trabajo. En vista de la anterior situación, el presente proyecto propone desarrollar una metodología involucrando componentes instrumentales y de procesamiento de imágenes que permita adelantar el análisis fotométrico de asteroides para la construcción de su curva de luz. Este trabajo permitirá que el OAUTP inicie en el campo de la fotometría de asteroides, contribuyendo a las bases de datos donde se reporta el periodo de estos objetos y ampliando el impacto de la comunidad astronómica colombiana a nivel regional y mundial.

1.2 Justificación

El presente proyecto permitirá adecuar la instrumentación existente en el Observatorio Astronómico UTP conformado por el arreglo telescopio, cámara astronómica y rueda de filtros, de tal forma que se logren tomar las fotografías con los tiempos de exposición y calidades adecuados para la observación óptima de asteroides. Así mismo la estandarización de los procesos empleados para la reducción de imágenes utilizadas, permitirá obtener las magnitudes instrumentales en una plataforma de uso universal en astronomía como lo es IRAF² y la construcción de las curvas de luz para el análisis del comportamiento de cuerpos celestes. Por otra parte las observaciones obtenidas a partir de esta metodología permitirán al observatorio participar en el proyecto Asteroid Belt Comet liderado por el profesor Ignacio Ferrín y además, la metodología permitirá reportar estos datos a la base de datos ALCDEF (Asteroid Lightcurve Photometry Database)³, la cual aglomera a nivel mundial las diferentes curvas de luz de asteroides.

Al tratarse de un proyecto enmarcado dentro de una colaboración internacional, el aporte de este trabajo ampliará el impacto de la astronomía nacional en el mundo, debido a que los datos se sumarán con los datos de otros observatorios que estudian asteroides con actividad cometaria, incrementando el conocimiento que se tiene de estos cuerpos, así como la visión de los modelos del Sistema Solar.

²Disponible en <http://iraf.noao.edu/>

³Disponible en <http://alcdef.org/>

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar una metodología para la observación fotométrica y la construcción de curvas de luz de asteroides registrados desde el Observatorio Astronómico UTP, a partir de instrumentación astronómica disponible y el procesamiento digital de imágenes.

1.3.2 Objetivos específicos

Para el desarrollo del presente proyecto se pretenden cumplir los siguientes objetivos específicos:

- Desarrollar una técnica instrumental que a partir de la instrumentación existente en el OAUTP, permita la captura de las imágenes en la banda V de los asteroides establecidos como objetos de estudio.
- Construir un algoritmo para el procesamiento digital de imágenes en la plataforma IRAF que permita obtener las magnitudes instrumentales en la banda V de los objetos a estudiar.
- Generar las curvas de luz a partir de los datos arrojados por el procesamiento digital de las imágenes y analizar las curvas de ajuste para los datos registrados.
- Reportar los datos fotométricos obtenidos al profesor Iganacio Ferrín; líder del proyecto de colaboración internacional Asteroid Belt Comet y así mismo reportar esta información a la base datos de asteroides activos ALCDEF.

1.4 Estado del arte

Los cometas son cuerpos celestes conformados principalmente por hielo, polvo y rocas, que orbitan alrededor del Sol siguiendo una trayectoria que puede ser elíptica, parabólica o hiperbólica. Observacionalmente, los cometas se identifican a través de la existencia de una coma o una cola [4]. La principal fuente de actividad de los cometas es la sublimación del hielo. La gran mayoría de cometas procede del cinturón de Kuiper, mientras que se identifican pocos registros dentro del cinturón principal de asteroides (MBA) [2].

Uno de los primeros casos de actividad cometaria es el objeto llamado 133P/Elst-Pizarro que en sus inicios se consideraba como cometa pero tiempo después se descubrió que era un MBA, marcando la primera evidencia de un asteroide con actividad cometaria [1]. Este cometa cambió la visión acerca de los asteroides, ya que se pensaba que los MBA no podían presentar algún tipo de actividad cometaria, porque el hielo debe ser inestable en su superficie [2]. Sin embargo, hasta el 2015 se han descubierto dieciséis objetos dentro del cinturón principal de asteroides que tienen actividad significativa. Estos cometas son importantes porque

pueden ayudar a comprender el origen, la evolución y la estructura del cinturón principal de asteroides y por ende todo el sistema solar.

Para la mayoría de los MBA, la presencia de gas sólo se infiere por la existencia de polvo visible y no se detecta directamente. Sin embargo, el Observatorio Espacial Herschel realizó una detección directa de desgasificación de vapor de agua para Ceres, marcando la primera vez que se ha descubierto sin ambigüedad la sublimación de un objeto del cinturón principal [5]. Por otra parte, se observa que la aparente emisión de polvo, similar a la de un cometa, es el resultado de impactos, desestabilización o una combinación de varios de estos tipos de efectos. En estos casos, los objetos pueden ser referidos como asteroides activos, para lo cual la rotación rápida del núcleo puede haber inducido su desintegración, pero la sublimación puede ser la responsable de la actividad posterior a la desintegración [6]. Tanto 133P/Elst-Pizarro como Ceres fueron identificados con el método de observación directa (coma y cola), sin embargo este método se lleva a cabo en observatorios donde los telescopios son mayores a dos metros de diámetro, ya que la cola se observa de manera directa.

En algunos casos el material expulsado debido a impactos, se puede explicar por la actividad cometaria. En 1994 se evidenció que las colisiones entre los asteroides ocurren a muy altas velocidades y por lo tanto son altamente erosivos [7]. El rendimiento del impacto es definido como la relación entre la masa de eyección y la masa del proyectil. El material expulsado por los impactos puede explicar la actividad observada en algunos asteroides. El 1 de enero de 2010 se da a conocer el primer asteroide activo por medio de una colisión [8]. Sin embargo, esta técnica requiere una predicción precisa de una efeméride, ya que las alertas de colisiones se presentan en fechas muy específicas y solo es útil la información durante la colisión. Además los asteroides activos que se han descubierto por este método han sido observados con telescopios mayores a 2 metros de diámetro.

Otra técnica utilizada para detectar actividad cometaria en asteroides consiste en la observación del espectro emitido por el objeto en el infrarrojo. Esta técnica permite detallar información sobre las bandas de absorción del espectro. Estas bandas se encuentran en la región 2.7 a 3.4 μm y están asociadas al agua en forma de hielo y a los minerales que contienen hidroxilo [9]. La detección de agua en forma de hielo apoyaría firmemente la hipótesis de que los asteroides activos podrían haber sido producidos a través de la fragmentación de un cuerpo parental rico en hielo. Sin embargo, esta técnica solo puede ser llevada a cabo por observatorios con telescopios de más de dos metros y además debe contar con un espectrógrafo de alta resolución.

En la actualidad se conoce una gran cantidad de objetos que no se han podido clasificar entre cometa o asteroide, pues su parámetro Tisserand (T_J), medido con respecto a Júpiter, y que describieron Kresak [10] y Kosai [11], presenta un valor muy cercano a 3. Los asteroides del cinturón principal tienen un $T_J > 3$, mientras que los cometas dinámicos tienen $T_J < 3$. Cabe mencionar que los métodos descritos anteriormente han permitido descubrir diferentes asteroides activos. Sin embargo, estos métodos son poco eficientes, pues hasta ahora solo han

permitido descubrir a razón de 1 por año⁴. Hoy en día un número creciente de astrónomos trabaja con una técnica que se conoce como curvas de luz seculares (SLC) [3], basada en las curvas de luz de cometas construidas por Kámel [12]. Esta técnica se centra en la observación de la variación del brillo del cometa en el tiempo, independientemente de la distancia a la Tierra. De esta manera es posible cuantificar el cambio real de brillo. Además, el método ha permitido iniciar el estudio de actividad cometaria en familias de asteroides, lo cual hace más eficiente la búsqueda de este tipo de objetos, ya que no se observa uno por uno, sino que se estudian varios a la vez. El primer trabajo donde se evidencia el estudio de familias de asteroides es [13], en el cual se identifica o se hacen observaciones para cuerpos de la familia Themis. En este trabajo Ignacio Ferrín presenta los resultados obtenidos al reducir 192016 observaciones de 165 asteroides de la familia Themis donde se evidenció la actividad cometaria de 5 asteroides y 25 candidatos más con actividad cometaria leve. Además, este trabajo presenta como característica que esta técnica puede ser usada por observatorios con telescopios menores a un metro de diámetro, lo cual la hace óptima para el OAUTP, ya que se cuenta con el telescopio Meade LX200 de 0,40 metros.

En el año 2016 Ignacio Ferrín (principal autor mundial en el tema SLC) asiste a LARIM (Latin American Regional IAU Meeting) realizado en la ciudad de Cartagena de Indias, Colombia con su trabajo titulado 41 New low level active comets, among members of the themis family of asteroids sobre SLC [13]. Este congreso de carácter internacional reunió a diferentes expertos de los países latinoamericanos para hablar de temas de vanguardia de la astronomía. El profesor Ignacio Ferrín de la Universidad de Antioquia y reconocido mundialmente por su trabajo en cuerpos menores del Sistema Solar en especial la detección de actividad cometaria a partir de SCL, propuso la creación de un proyecto de colaboración internacional para la observación y detección de actividad cometaria de asteroides a partir de la construcción de SLC. En respuesta a esta convocatoria el Grupo de Investigación en Astroingeniería Alfa Orión, del Observatorio Astronómico UTP con código MPC (W63), se adhirió a esta iniciativa, ya que se cuenta con los instrumentos y las capacidades técnicas para incursionar en el campo de la fotometría de asteroides. Para el OAUTP representa una gran oportunidad pero a su vez un gran reto, ya que este proyecto involucra el desarrollo y la implementación de técnicas instrumentales que permitan adelantar la observación fotométrica de cuerpos menores del MBA del Sistema Solar.

El presente proyecto propone desarrollar una metodología para adelantar estas observaciones fotométricas desde el observatorio astronómico UTP. En el mundo son diversos los trabajos donde se encuentran diferentes metodologías para la observación de asteroides y cometas, además considerando que las observaciones fotométricas son hasta la fecha la principal fuente de información sobre las propiedades físicas de asteroides. Un progreso considerable en el estudio de los asteroides se ha logrado gracias al uso de los dispositivos de carga acoplada (CCD) lo cual ha hecho que se creen nuevas técnicas fotométricas como lo es el método de

⁴En el cinturón de asteroides existen más de 200 objetos de un tamaño de más de 100 km de diámetro, casi 1 millón de objetos de más de 1 km de diámetro y miles de millones de objetos con menos 1 km de diámetro.

fotometría diferencial para la obtención de curvas de luz de asteroides. Este método se basa en determinar la diferencia de magnitud entre el asteroide y la estrella de comparación. La estrella de comparación es un objeto presente en el campo de la fotografía y reúne condiciones específicas para que pueda ser establecida como estrella de referencia del asteroide. Un campo CCD por lo general alberga varias estrellas brillantes que se pueden utilizar como estrella de comparación. Obtener una curva de luz completa de un asteroide (es decir, realizando una fotometría continua de asteroide durante el período de su revolución) requiere una densa serie de observaciones a lo largo de todo la noche [14].

Para el estudio de cuerpos celestes en particular de asteroides se utilizan filtros fotométricos para determinar el brillo de los diferentes astros. Los sistemas fotométricos más conocidos son el UBVRI, desarrollado por Johnson y Morgan en 1953, el Coussin del año 1973 y el Sloan, este último de banda estrecha. Las siglas UBVRI corresponden al color de los diferentes filtros y a la luz estelar que filtran: Ultraviolet (ultravioleta), Blue (azul, Banda B), Visual (verde, Banda V), Red (rojo, Banda R) e Infrared (Infrarrojo, Banda I). El éxito del sistema radica en que los diferentes filtros están centrados en una determinada longitud de onda. De esta manera el U presenta su máximo en los 350 nm, el B en 430 nm, el V en los 550 nm, el R en 700 nm y el I en 900 nm. Uno de los primeros usos de estos filtros es la captura de imágenes de un astro en diferentes bandas fotométricas, por ejemplo una banda visual con filtro V aparecerá con un aspecto distinto a la imagen tomada con filtro B, según el color propio del objeto. El segundo uso es determinar el brillo de un astro en bandas fotométricas [15].

La mayoría de las curvas de luz de asteroides son de periodicidad única y, por lo tanto, implican que el estado de rotación del objeto está relajado, es decir, que el asteroide gira alrededor del eje correspondiente a su momento máximo de inercia, y este eje está alineado con el vector de momento angular. Se ha observado que varios objetos presentan curvas de luz de doble periodo, lo cual en la mayoría de los casos ha demostrado que el objeto es un asteroide binario [16]. Sin embargo, existen algunos asteroides que se encuentran en un estado de rotación excitado, es decir, en precesión. Un asteroide de precesión generalmente se ve iluminado dentro de un corto periodo de tiempo. En [17], Kassalainen presenta una nueva técnica para la construcción de la curva de luz, la cual denominó técnica de inversión de la curva de luz. Esta técnica se usa para encontrar el período de rotación de un objeto, su forma y orientación del eje de rotación. Asimismo se requiere la disponibilidad de mediciones de la curva de luz en varias épocas pero con un periodo corto de tiempo.

En el año 2003, Yu. N. Krugly prueba una técnica fotométrica para NEA's (Near Earth Asteroids) que consiste en el método de superponer áreas para relacionar las magnitudes de las estrellas en los campos vecinos del cielo. Este método consiste en lo siguiente: Durante las observaciones, el telescopio se mueve en la dirección del movimiento del asteroide, por lo cual el campo estelar de referencia presenta en las cámaras un movimiento hacia el borde del campo. El telescopio se debe desplazar la mitad del campo de visión de la cámara aproximadamente para que al menos una o varias estrellas de comparación de la anterior área permanezca en el campo de visión. Además, se requiere que al menos una o varias estre-

llas "nuevas" ubicadas a lo largo de la dirección del movimiento del asteroide se superponga permitiendo la interrelación de la magnitudes de estrellas en campos adyacentes. Después de medir las magnitudes de todas las estrellas de comparación, se calcula las diferencias de magnitud mutua para cada par de estrellas observadas y luego se promedia sobre todas las observaciones [18].

Con respecto al procesamiento de las fotografías en el área fotométrica se encuentran muchos software de los cuales se destacan IRAF (Image Reduce Analysis Facility) y DAOPHOT que son los más utilizados por los diferentes astrónomos del mundo. Estos software a pesar de las diferencias que presentan entre sí, operan ajustando un modelo de PSF sobre los objetos presentes en la fotografía, realizando así la apertura y calculando la fotometría. Dentro de las diferencias que presentan estos programas se encuentra la facilidad de uso, los recursos computacionales requeridos y los resultados fotométricos. Para el caso de IRAF, se cuenta con un sofisticado algoritmo numérico y estadístico. Sin embargo, la fotometría de los programas varía un poco [19].

Considerando que el Observatorio Astronómico UTP cuenta con la instrumentación apropiada para adelantar la observación fotométrica de asteroides y respondiendo a la convocatoria internacional liderada por el profesor Ferrín, el presente proyecto propone generar una metodología para la observación fotométrica de asteroides y la posterior construcción de su curva de luz.

Capítulo 2

Análisis fotométrico de cuerpos menores desde el OAUTP

Considerando los antecedentes encontrados en la bibliografía revisada y los objetivos que se trazaron en el proyecto, se determinó adoptar la estrategia presentada en la Figura 2.1. El proyecto se desarrolló en tres etapas, la primera etapa consiste en la adquisición de datos. Se explica como conectar todos los equipos para lograr una imagen de calidad; la segunda etapa trata acerca del procesamiento de los datos donde se detalla como eliminar los diferentes ruidos y calcular la magnitud instrumental de las estrellas de referencia y del asteroide; la tercera y ultima etapa tiene como objetivo la construcción de las curvas de luz.

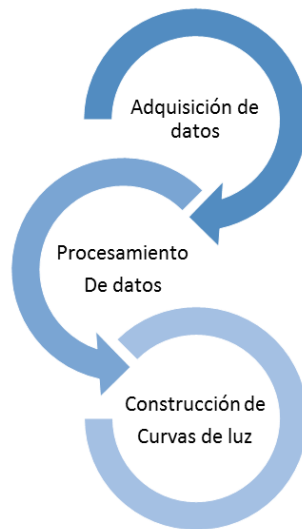


Figura 2.1: Esquema general de la ejecución del proyecto.

2.1 Adquisición de los datos

Se contruyó el esquema de la Figura 2.2 para representar todos los pasos que se deben llevar acabo para la adquisición de imágenes astronómicas desde el OAUTP. Estos pasos se describen a continuación

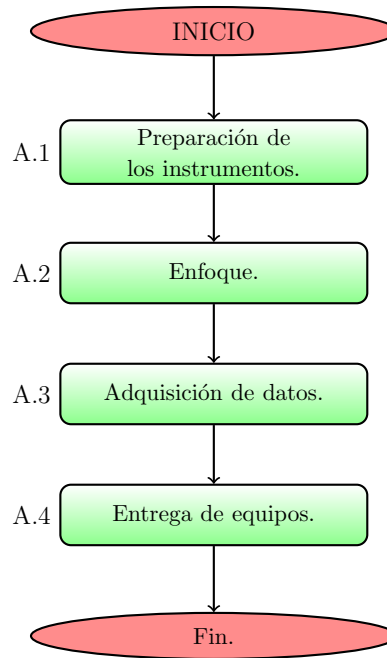


Figura 2.2: Diagrama de la metodología para el manejo del telescopio del OAUTP.

2.1.1 Preparación de los instrumentos

Dado que las mediciones fueron realizadas en el OAUTP, se presenta a continuación la instrumentación con la que se realizó la adquisición de los datos:

- Telescopio Meade Schmidt-Cassegrain LX 200 GPS de 16". En montura Ecuatorial, ajustada a la latitud local.
- Cámara CCD SBIG STF-8300 XM.
- Rueda de filtros electrónica SBIG CFW-10, con 8 posiciones para 36mm.
- Cámara guía OAG-8300 de SBIG.

2.1.1.1 Ubicación

El Observatorio Astronómico de la Universidad Tecnológica de Pereira se encuentra ubicado en el campus universitario en el sector La Julita, en el Edificio 13A-511, en la zona Sur-Este

de la ciudad (ver Figura 2.3). Sus coordenadas geográficas son:

Longitud: 75.69039° W).

Latitud: 4.790494° N.

Altura: 1450 msnm.

Hora UTC: -5.



Figura 2.3: Edificio 13 donde se encuentra ubicado el Observatorio Astronómico de la Universidad Tecnológica de Pereira.

2.1.1.2 Telescopio

En la cúpula del OAUTP se cuenta con el telescopio Meade LX200 GPS de 16" en montura permanente (ver Figura 2.4). Se trata de un telescopio tipo Schmidt-Cassegrain (la estructura óptica se puede ver en la Figura 2.5), motorizado, con una relación focal $f/10$, ubicado en una montura ecuatorial tipo horquilla con cuña ecuatorial ajustada a la latitud local, 4.75° . El software de control es TheSkye. El motor del telescopio permite hacer seguimiento de los objetos celestes a lo largo de la noche. Sin embargo, se deben realizar procedimientos de alineación y sincronización que garanticen la alineación del equipo con el eje de rotación terrestre y el ajuste al software de control [20].



Figura 2.4: Telescopio Meade LX200 GPS de 16" del OAUTP.

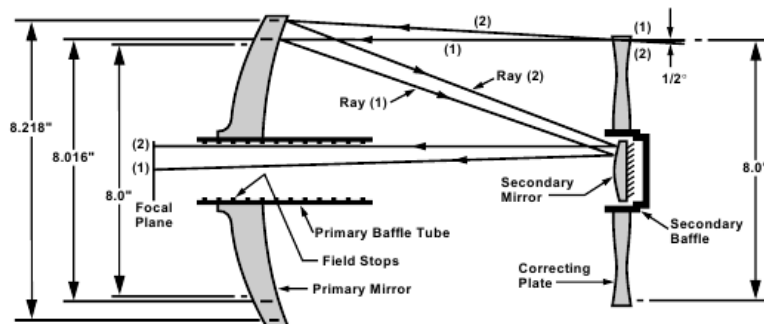


Figura 2.5: Estructura óptica del telescopio Schmidt-Cassegrain para un modelo de 8\".

2.1.1.3 Detector

El detector CCD, del inglés charge coupled device, se encarga de la conversión de una señal luminosa en una señal eléctrica. Esta técnica introducida en 1969 es utilizada en astronomía desde el final de los años 70, proporcionando detectores en los dominios visible, infrarrojo y UV cercano [21].

Un CCD es una matriz de elementos sensibles a la luz (píxeles) capaces de absorber fotones y utilizar la energía aportada por el fotón para excitar y liberar electrones en el material

de la CCD, comúnmente silicio . Estos electrones libres generan una carga eléctrica que es conducida hacia unos amplificadores para posteriormente ser cuantificada [22].

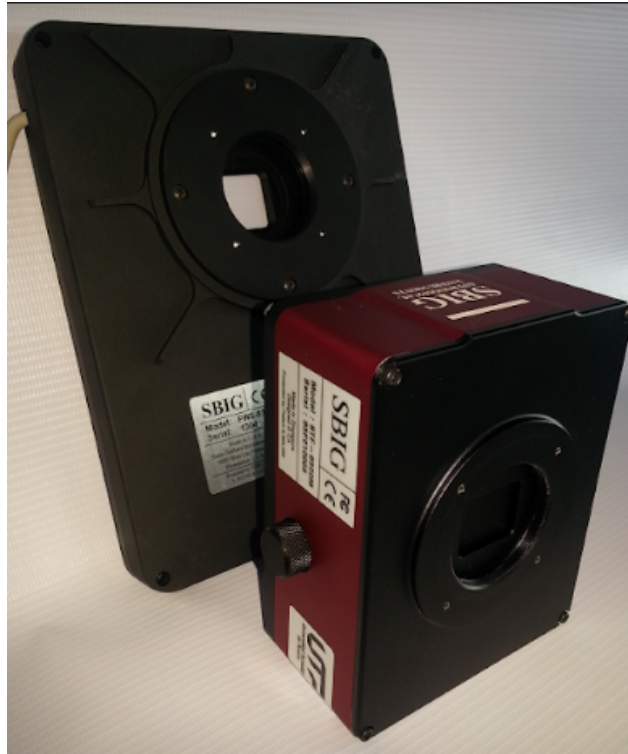


Figura 2.6: Cámara CCD SBIG STF-8300 XM .

La cámara con la que se trabajó este proyecto de investigación en el OAUTP es la de referencia STF-8300 XM (ver Figura 2.6), de la compañía Santa Barbara Instrument Group (SBIG). La cámara tiene un sensor CCD de marca Kodak y un sistema de refrigeración interno acoplado que permite la adquisición de imágenes de alta resolución [23].

2.1.1.4 Cámara guía

La cámara guía es un dispositivo que realiza pequeñas correcciones en la posición de la montura durante la obtención de las imágenes de larga exposición. Durante la duración de la exposición, la cámara sigue el movimiento de una estrella, la estrella guía, y cuando la estrella parece moverse ligeramente, aplica una señal correctiva a la montura, aumentando con gran precisión el seguimiento [24].

La guía fuera de eje con la que se cuenta en el OAUTP es la cámara SBIG ST-i color (ver Figura 2.7) la cual se utilizó para la adquisición de las imágenes. El equipo opera con un ST-i como el autoguider y su sistema interno de 7 relés ópticos que aumentan las probabilidades de encontrar una estrella de calibración o comparación [25].



Figura 2.7: Cámara guía ST-i.

2.1.1.5 Rueda de filtros

Existen sistemas fotométricos estándar que sirven de referencia para las mediciones fotométricas. Este estándar se estableció con el propósito que diferentes observatorios, con diferentes equipos, detectores y filtros puedan comparar observaciones. Los sistemas pueden ser divididos en tres grupos: Banda ancha, con amplitudes de 900 Å; Banda intermedia, con amplitudes de 200 Å; y Banda estrecha (Narrow-Band) con amplitud de 30 Å. Estos son filtros usados para aislar las líneas espectrales individuales. El sistema de banda ancha más utilizado es el UBV, el cual posteriormente fue ampliado a UBVRI, también llamado comúnmente sistema Jhonson-Cousins. Los filtros de banda ancha son empleados para los objetos más débiles con el fin de conseguir suficiente señal como es el caso de los asteroides; mientras que las estrellas brillantes pueden ser medidas con filtros de banda intermedia o de banda estrecha.

El OAUTP cuenta con la rueda de filtros electrónica SBIG CFW-10, con 8 posiciones para 36mm. Cada filtro es una pieza de vidrio circular con el recubrimiento para permitir el paso de las longitudes de onda indicadas para cada uno. Estos se deben ubicar en la rueda de filtros de la cámara STF-8300, los filtros de los que dispone la cámara son Clear, V, B, R, I, U, g', r'. La metodología se desarrollo con el filtro V.

2.1.1.6 Planeación de la observación

Para el OOUTP es muy importante la planeación de las observaciones. Para esto se debe diligenciar un formato de observación, donde primero se debe describir los datos de las persona que solicita el uso de los equipos. Se debe hacer una justificación de la observación, posteriormente se solicitan todos los equipos que se van usar, se hace un programa detallado de la observación, aquí se debe seleccionar los días en los que el solicitante va a trabajar. También se debe completar una tabla donde se describe que objetos se van observar, las coordenadas del objeto, la magnitud del objeto. El detalle de los datos que se van tomar (Clear, Binning y la Banda) y el número de horas que el objeto esta visible por semana; para realizar esta

última tarea se utiliza la curva de visibilidad, una herramienta en línea del Observatorio La Palma¹. Una vez realizado todo esto se envía al director del grupo para aceptarlo o hacer las respectivas correcciones

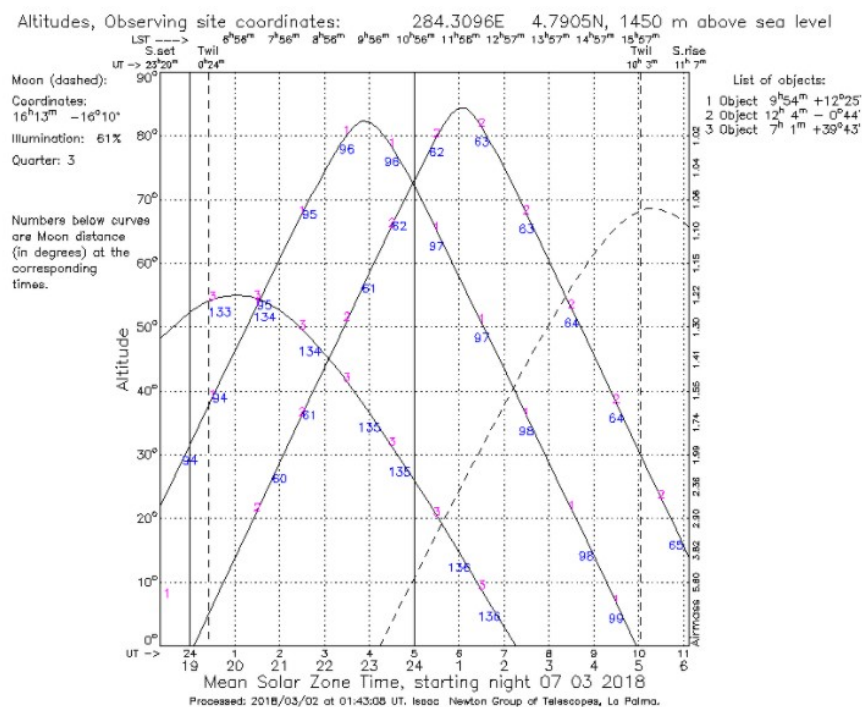


Figura 2.8: Diagrama de visibilidad exportado por StarAlt para la noche del 7 de Agosto de 2018, para los objetos en la lista a la derecha, desde la ubicación geográfica del OAUTP.

En la Figura 2.8 se puede observar un ejemplo de una curva de visibilidad. Las coordenadas celestes de los objetos aparecen en la lista de la derecha; las líneas punteadas verticales indican el anochecer y el amanecer. En la zona inferior se marca la hora universal o UT, siendo la hora local UT-5. En los ejes verticales se marcan dos datos relacionados, la altura² y la masa de aire³. En el gráfico se pueden observar las líneas que indican la altura a la hora correspondiente del objeto. Cada línea se encuentra numerada y la línea punteada indica la ubicación de la Luna, y a la izquierda información más detallada de ella.

¹StarAlt - Herramienta de visibilidad de objetos de desarrollada por el Observatorio de La Palma. Disponible en: <http://catserver.ing.iac.es/staralt/>

²La altura es el ángulo de separación entre el horizonte y el objeto. En este caso no se toma en cuenta el relieve local del horizonte, por ésto aunque un objeto tenga altura mayor que cero, puede que en el horizonte local aún no sea visible por su relieve.

³La masa de aire es el índice que señala la cantidad de atmósfera que debe atravesar la luz de un cuerpo celeste para llegar al instrumento de medida. A menor altura el índice de masa de aire aumenta significativamente, y el valor mínimo es 1 en el cenit (altura 90°).

2.1.1.7 Preparación de los instrumentos

Una vez es aprobada la solicitud del telescopio y la noche es óptima para observar, se procede a adecuar la cúpula. Para conectar las cámaras, se recomienda hacer la conexión desde la oficina, ya que es mucho más cómodo y se corre menos riesgo de algún daño. Una vez estén la cámara y accesorios, se conectan al telescopio y se ajustan todos los tornillos correspondientes. Se debe verificar que todos los cables queden bien conectados para no tener problemas con la conexión al computador y finalmente es muy importante la forma en la que se pone la cámara, ya que de acuerdo a la posición en la que se ubique, las imágenes van a tener una orientación. Se recomienda ver la Figura 2.9 en la que se muestra la posición adecuada para la adquisición de las imágenes de los asteroides.



Figura 2.9: Montaje para la adquisición de datos desde el OAUTP.

Para la conexión del telescopio al computador se utiliza el software TheSky⁴; éste es muy utilizado por la comunidad astronómica, ya que se pueden cargar archivos desde diferentes bases de datos. Una vez se inicializa el programa como se muestra en la Figura 2.10, se procede a conectar el telescopio al software. Inmediatamente se active el software mostrará hacia donde está observando el telescopio, lo ideal es mover el telescopio hacia una estrella brillante y sincronizarlo, esto con el fin de ser más preciso en la observación, posteriormente se debe ingresar a la página del Minor Planet and Comet Ephemeris Service⁵, allí llenamos los datos correspondiente al objeto a observar, los datos de ubicación del observatorio y finalmente descargar el archivo en formato de TheSky, esto con el fin de ingresar los datos al software.

⁴Disponible en: <http://www.bisque.com/sc/pages/TheSkyX-Professional-Edition.aspx>

⁵Herramienta que permite generar los datos de la posición de un asteroide o cometa. Disponible en <https://www.minorplanetcenter.net/iau/MPEph/MPEph.html>

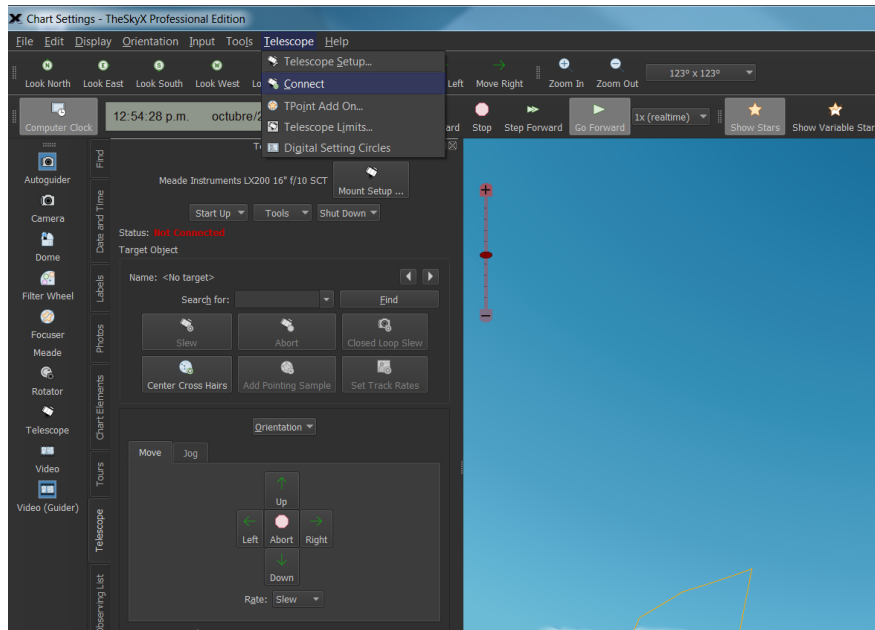


Figura 2.10: TheSky software para la conexión del telescopio al computador.

MaximDL es un software que complementa la observación, éste permite el control de la rueda de filtros y las cámaras. Una vez se inicia el programa se busca en los menús, la opción de observatorio, ahí se debe verificar que el telescopio si esté conectado a MaximDL como se observa en la Figura 2.11. Esto con el fin de que en el header de las fotos quede con toda la información del telescopio, coordenadas y tiempos de exposición en que fueron capturadas, en la Figura 2.12 se muestra lo que sale en la pantalla cuando se realizada adecuadamente la conexión del telescopio a MaximDL.

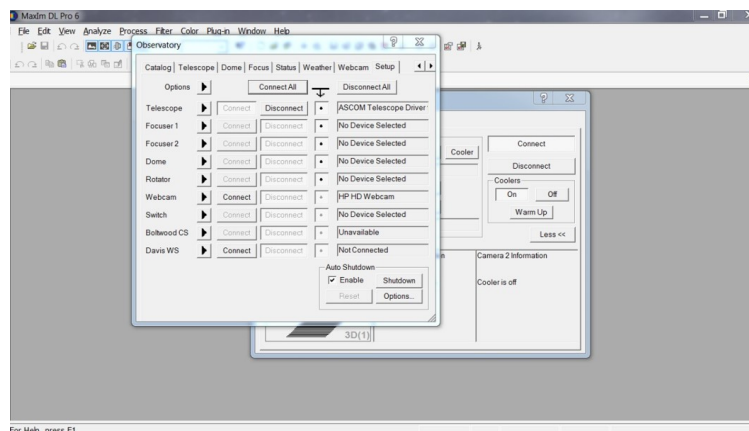


Figura 2.11: Configuraciones de la opción observatorio

Para establecer la conexión entre la cámara y MaximDL se hace un procedimiento similar al del telescopio. Se busca la opción de cámara control, el cual nos muestra un menú, ahí debemos verificar que nuestras dos cámaras se encuentren conectadas, una es la sbig 8300 y la otra sbig-i. En caso de que no aparezcan le damos click a setup cámara y la buscamos, si aún sigue sin aparecer se debe revisar la conexión de los cables de la cámara al telescopio.

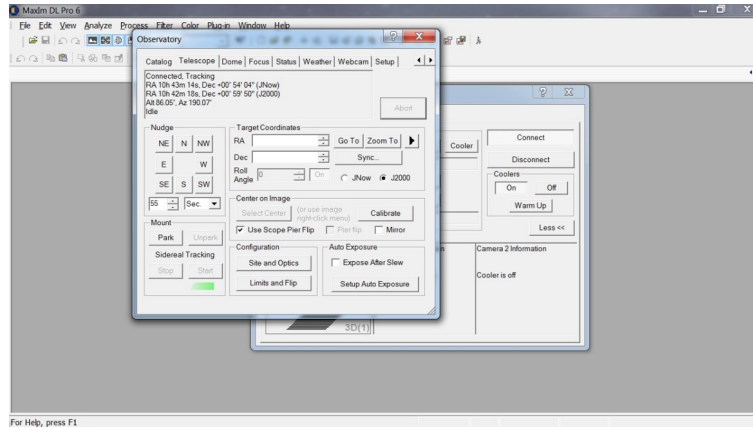


Figura 2.12: Conexión del telescopio a MaximDL.

Finalmente, hay que configurar el header de la foto, para esto utilizamos una opción llamada autosave, ahí se despliega un menú como en la figura 2.13 y se completan todos los campos como se muestra en el ejemplo de configuración. Esta parte es muy importante, ya que el header guarda toda la información acerca de la foto, por esta razón hay que llenar todos los campos de la forma más clara y simple.

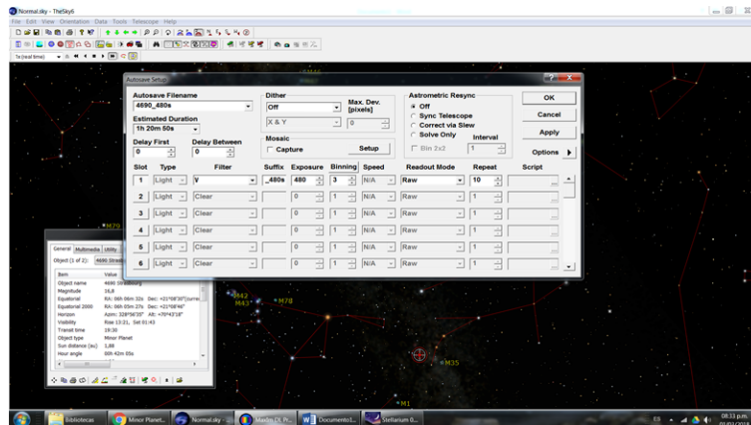


Figura 2.13: Configuraciones del header de una imagen en MaximDL.

2.1.1.8 Refrigeración

Para activar la refrigeración le damos click en la opción cámara control-setup y luego warm up. Ahí ponemos la temperatura deseada, lo recomendado son -5°C y luego lo activamos. Se muestra en ejemplo en la Figura 2.14.

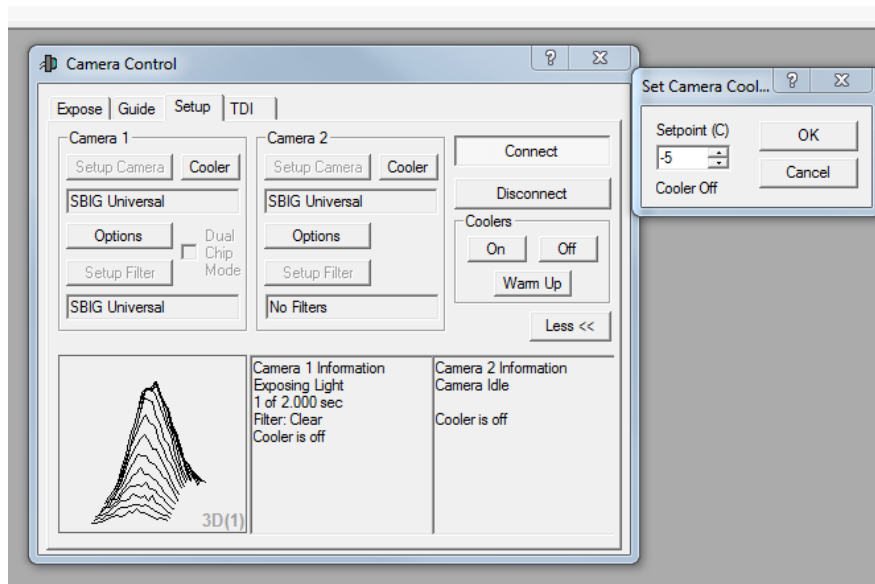


Figura 2.14: Configuraciones de la refrigeración de una imagen en MaxinDL.

2.1.1.9 Enfoque

En la óptica geométrica el foco es el punto donde convergen los rayos de luz originados desde un punto en el objeto observado, es decir, hay que buscar que las estrellas parezcan puntos. Normalmente encontramos las estrellas como en la Figura 2.15 parte superior, donde parecen un disco o varios círculos, para corregir esto es necesario mover las perillas del foco del telescopio (Ver Figura 2.15 parte inferior), donde la perilla 1 sirve para aflojar el espejo del telescopio y la perilla 2 se mueve a la izquierda o la derecha hasta que la estrella se haga lo más puntual posible. A este procedimiento se le conoce como foco grueso.

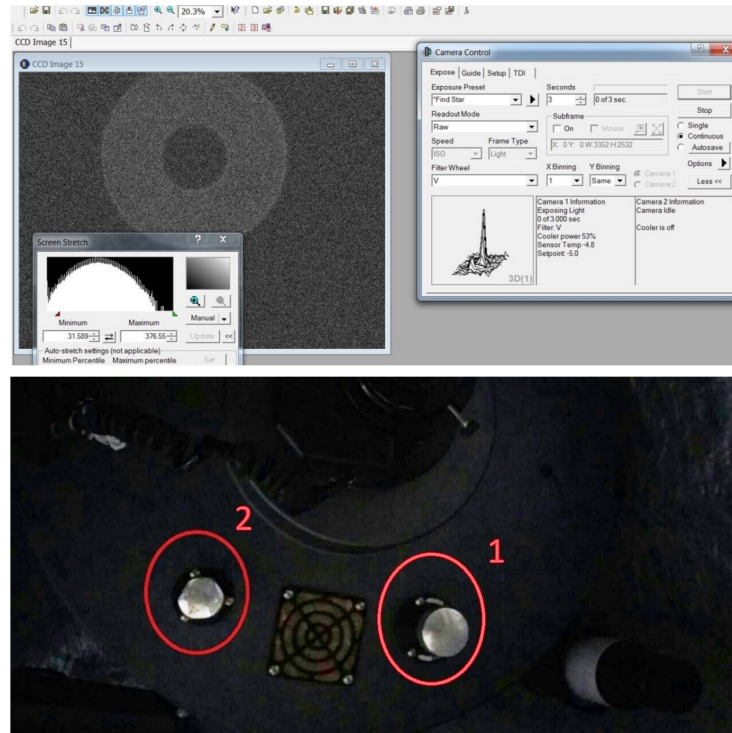


Figura 2.15: Estrella desenfozada en MaximDL (Superior). Perillas del telescopio, la perilla 1 para aflojar el espejo y la perilla 2 para moverlo (Inferior).

A pesar de que vemos la estrella puntual, aún no está completamente enfocada. Para mejorar el foco, es necesario tomar una foto de poco tiempo de exposición y observar las cuentas de las diferentes estrellas que aparecen en el campo. Lo ideal es que las estrellas cuando se observan en el visualizador de MaximDL y con la opción de área plot tengan el aspecto de una curva gaussiana (Ver Figura 2.16). Para corregir este foco llamado foco fino, utilizamos el control del telescopio en la opción 4 que es focus, buscamos fine focus y se mueve a la izquierda o derecha hasta que la gaussiana se vea lo mejor posible.

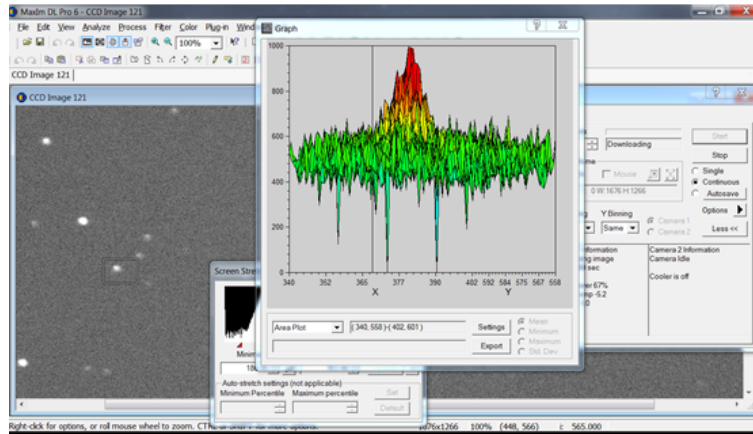


Figura 2.16: Ejemplo de la configuraciones del foco fino de una imagen en MaximDL.

Para terminar el procedimiento de adquisición de datos. Buscamos una estrella de seguimiento para que el telescopio sea mucho más preciso, para esto utilizamos la cámara guía, la cual necesita una estrella dentro del campo de la cámara 2 en MaximDL. Una vez se tenga la estrella dentro del campo se le da doble clic y luego track, y el programa debe hacer una L como se muestre en la Figura 2.17 y procedemos a tomar las fotografías.

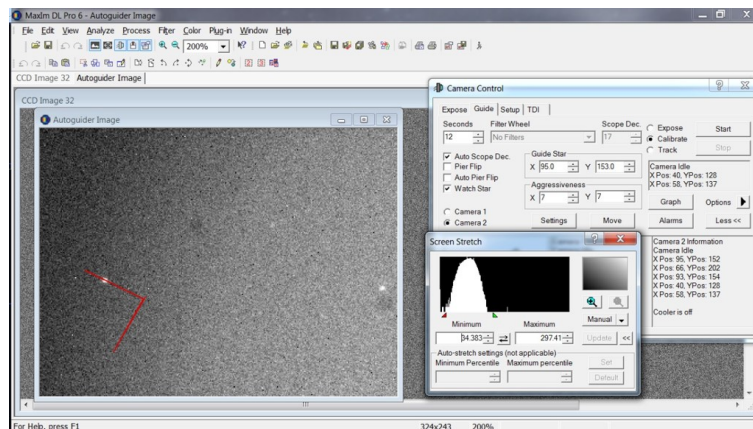


Figura 2.17: Enfoque de la cámara guía.

2.1.2 Adquisición de los datos

Una vez finalizado todo el procedimiento anterior se procede a la adquisición de los datos. Para esto primero se sugiere crear una carpeta con la fecha donde se van a guardar todos las imágenes, además, como el objeto a observar es un asteroide, hay que estar revisando todas las fotos cuando salgan, ya que como el asteroide se mueve en algunos casos muy rápido se puede salir del campo. Otro detalle a tener en cuenta es el tiempo exposición, ya que este depende de la magnitud del objeto, la cual varía en cada imagen. Por último se deben tomar

los flats, en la siguiente sección de la metodología se ampliará acerca de este tipo de imágenes de calibración.

2.2 Procesamiento de los datos

El diagrama presentado en la Figura 2.18, muestra el paso a paso del procesamiento de los datos, el cual fue dividido en 2 partes. Una primera parte que se encarga de la eliminación de todos los ruidos adictivos y multiplicativos presentes en las imágenes y una segunda parte que explica el proceso para calcular la magnitud instrumental del asteroide y las estrellas de referencia. Para realizar el procesamiento de los datos se utiliza el software IRAF.

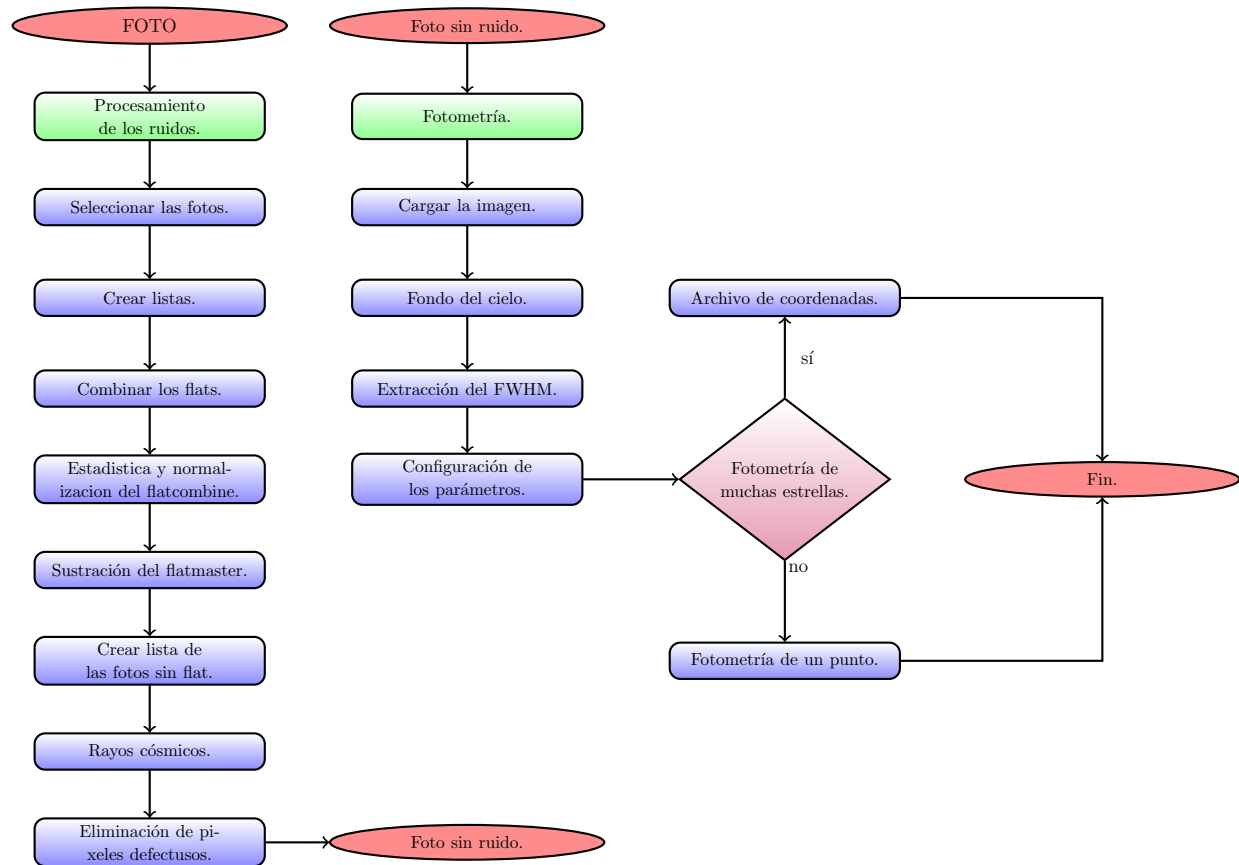


Figura 2.18: Diagrama de la metodología para el procesamiento de los datos.

2.2.1 IRAF

IRAF corresponde a las siglas en inglés Image Reduction and Analysis Facility. Esta herramienta de uso en el análisis y el procesamiento de imágenes astronómicas. Fue desarrollado por la institución National Optical Astronomy Observatories (NOAO) en Tucson, Arizona.

Se ha hecho popular porque es el programa de reducción y análisis de datos del Telescopio Espacial Hubble (HST). Además, IRAF permite agregar tareas propias y ejecutarlas dentro del mismo, lo cual hace que el software se pueda ajustar a las diferentes necesidades que tenga cada observador.

El sistema consiste de cuatro piezas básicas que son:

- Paquetes de aplicación (Algoritmos para analizar datos reales).
- Sistema operativo virtual (VOS Interfaz del sistema huésped).
- CL (Command Language), es una interfaz entre el usuario y todos los paquetes de aplicación de IRAF. Para ejecutar los paquetes, se realiza a través de parámetros que el usuario puede modificar.

2.2.2 Fuentes y tipos de ruidos

Pedestal Bias: Ruido aditivo adicionado a la imagen antes de la conversión A/D para evitar valores negativos. Se realiza la corrección con una sustracción.

Corriente oscura Dark: Ruido aditivo, también llamado ruido térmico, el cual se puede reducir en cierta medida con la refrigeración de la cámara de adquisición de datos. Las imágenes que corrigen éste ruido son llamadas Dark y deben corresponder al mismo tiempo de exposición de las imágenes de datos. La cámara SBIG 8300 realiza de forma automática la corrección por Bias y por Darks.

Campo plano Flat: El ruido de campo plano hace referencia a la no uniformidad de la distribución de la luz en el campo del sensor, ya sea por la construcción del mismo o el camino óptico de la instrumentación. Es un tipo de ruido no lineal, por lo tanto su corrección se realiza por división en lugar de resta como en el caso de Dark y Bias.

Rayos cósmicos: Los rayos cósmicos son partículas que al interactuar con el sensor generan una señal muy alta en un rango de muy pocos pixeles (2-5). No tienen la forma de una PSF típica estelar, pero si se encuentran en el área de medición y pueden alterar los valores calculados. Por lo tanto se eliminan con una tarea específica de IRAF que los detecta.

Píxel defectuoso: Es un píxel que no responde como debería, es decir, el pixel no funciona adecuadamente, esto puede suceder por tres razones. La primera se conoce como píxel caliente; es aquel píxel que siempre marca un registro de luz mayor del debería generar. El segundo es llamado píxel atascado, es un píxel que siempre da señal, sin importar la cantidad de luz recibida. Lo cual produce un punto de alguno de estos colores rojo, verde o azul. Por último, están los píxeles muertos que son aquellos que nunca dan señal y se ven de color negro.

2.2.3 Pre-procesamiento

Como se mencionó anteriormente al realizar la captura de las imágenes se introduce ruido que debe ser eliminado con el pre-procesamiento. Para esto se inicia creando una lista por cada tipo de imágenes a procesar, es decir, flats e imágenes en crudo que para facilidad se denominarán data. Las listas se realizan con la siguiente tarea de IRAF.

```
>> ls pre *.fits > lisnombre.in
```

Donde "ls" es el comando para realizar listas de los archivos contenidos en un directorio; pre es el prefijo de los archivos que se desean seleccionar en la lista; "*" es el carácter especial para encontrar elementos con datos similares, es decir, la numeración de las imágenes; fits la extensión de las imágenes la cual puede variar; > es el carácter que indica donde guardar la lista; lisnombre es el nombre con el cual se guardará la lista; .in, .ls o .lis es la extensión de la lista que corresponde al índice. De igual forma se puede emplear el comando files, el cual selecciona los archivos con el prefijo y tipo de archivo indicado y guarda los nombres en la lista correspondiente.

```
>> files pre *.fits > nombrelista.ls
```

Para verificar que las listas fueron creadas exitosamente, se utiliza el siguiente comando

```
>> cat lisnombre.in
```

Para llamar una lista de imágenes en una tarea se antepone el símbolo @ al nombre de la lista, ejemplo @data.in. Cuando se opera con las imágenes de una lista para no sobrescribirlas el usuario puede agregar un sufijo o prefijo. Normalmente se les da un nombre corto y que represente el archivo como por ejemplo la lista de los flats es igual dataf.in ó la lista de los rayos cósmicos crdata.in.

2.2.3.1 Flat

Posteriormente, es necesario corregir las imágenes de datos por el ruido de campo plano. Las imágenes correctoras son llamadas flats. Para aplicar la corrección se combinan todos los flats con la tarea **imcombine** y se emplea el tipo de combinación mediana.

A continuación se muestra la forma correcta de abrir la tarea imcombine. Para esto se debe cargar el paquete images.immatch, ahí se puede configurar la tarea.

```
>> epar imcombine
input = @lisflats.in Lista de las imágenes a combinar
output = flatcombine.fits Lista de imágenes de salida
(combine = median) Tipo de opereción
```

Una vez configurada, se procede a ejecutar la tarea

```
>> imcombine @data.f.in flatcombine.fits combine = median
```

La imagen de salida no corresponde al flatmaster dado que antes de aplicar la corrección a las imágenes éste se debe normalizar. IRAF posee la tarea **normflat** del paquete imred subpaquete generic, la cual requiere de la siguiente información para su configuración.

```
package generic.imred
>> epar normflat
image = flatcombine.fits Image de calibración
flatfield = flatmaster.fits Campo de flat
(norm = INDEF Normalization if nor INDEF)
```

Con la tarea **imstat** se comprueba si el valor de la mediana del flatmaster es 1. De ser así, el flatmaster estará normalizado. Dado que el flat es un ruido multiplicativo, la forma de eliminarlo es dividiendo la imagen por el flatmaster. Las imágenes finales llevarán el nombre más un sufijo o prefijo para identificarlas en procesos posteriores.

```
package images.imutil
>> epar imarith
operand1 = @lisdata.in Operador 1
op = / Operación
operand2 = flatmaster.fits Operador 2
result = prefix//@lisdata.in Imagen resultante
```

Una vez configurada, se procede a ejecutar la tarea

```
>> imarith @lisdata.in / flatmaster.fits @data.in//f
```

Dado que a las imágenes de los datos originales (llamadas imágenes crudas) se les ha restado el bias y el dark de forma automática por la cámara, y se ha dividido por el flat, éstas imágenes se encuentran limpias del ruido electrónico e instrumental.

2.2.3.2 Rayos cósmicos

Los rayos cósmicos se presentan en las imágenes como puntos brillantes aún cuando ya se ha realizado la sustracción de darks. Para la limpieza de estos rayos se utiliza la tarea **cosmicrays** del paquete noao subpaquete imred subsubpaquete crutil como se muestra a continuación y IRAF detectará los rayos cósmicos presentes en las imágenes:

```
package noao.imred.crutil
>> epar cosmicrays
input = @lisdata.in Lista de las imágenes que tienen rayos cósmicos
```

output = prefix//@lisdata.in **Lista con las imágenes de salida**
 (npasses) = 2 **Número de pasos**

Una vez configurada, se procede a ejecutar la tarea

```
>> cosmicrays @data.lisr //@cosmicrays.lis
```

2.2.3.3 Píxeles defectuosos

Para terminar con el procedimiento de eliminación de ruidos de las fotos. Se utiliza MaximDL, una vez se cargue la imagen, seleccionamos una área que no tenga estrellas; esto con el fin de conocer el valor de cuentas que tiene el fondo del cielo. Después buscamos en el menú la opción process-remove bad pixels, luego damos click en auto generate y finalmente se pone el valor del cielo del fondo y los 60000 que son las cuentas máximas que se tienen con la cámara 8300.

2.2.4 Fotometría

La fotometría es el estudio de variaciones luminosas provenientes de diferentes astros. Existen diferentes métodos de fotometría: fotometría fotoeléctrica y fotometría CCD, los cuales se pueden trabajar en distintas bandas según el filtro utilizado al efectuar las mediciones. Para realizar dichas mediciones se han establecido unos sistemas fotométricos, los más conocidos son el UBV de W.W. Morgan y Harold Johnson y el UBVRI de A. Cousins y J. Menzies.

La fotometría fotoeléctrica comenzó a desarrollarse a inicios del siglo XX, Joel Stebbins determina la magnitud de los diferentes astros por medio de un fotómetro fotoeléctrico como receptor y cuantificador de la luz recibida [26]. El equipo consta de un semiconductor, como detector, capaz de convertir la luz en electricidad, un amplificador, un conversor voltaje-frecuencia y un visualizador digital en donde se leen las cuentas. Tras la entrada en el mercado de las nuevas cámaras CCD la fotometría fotoeléctrica se ha visto relegada a ciertos campos, ya que la fotometría CCD es más rápida y precisa.

La fotometría CCD comenzó a mediados de los años 70, está basada en el uso de un chip como receptor y cuantificador de la luz recibida. El CCD actúa como un mosaico de detectores (cada pixel) cuya sensibilidad es diferente, por eso antes de comenzar a extraer las mediciones fotométricas de la imagen tomada, es preciso haberla procesado para evitar el ruido de lectura de la cámara, rayos cósmicos que hayan incidido por azar, luz espuria de origen térmico u otros errores desconocidos.

2.2.5 Tipos de fotometría

Existen dos tipos de técnicas fotométricas: Una es la fotometría de síntesis de apertura y la otra es la fotometría diferencial. Para la primera, se realiza un promedio de los píxeles del fondo y los píxeles dentro de un círculo que contenga el objeto, luego se sustraen y se obtiene la

medida del objeto [27]. El método de fotometría diferencial consiste en obtener la intensidad del objeto a través del tiempo, diferenciándolo claramente en cada imagen y comparándolo con estrellas estándar constantes, presentes en la misma fotografía astronómica. Es necesario utilizar el ajuste PSF (Point Spread Function) para mejorar el contorno de cada objeto en la imagen y así realizar las comparaciones necesarias y crear los algoritmos que permiten establecer la región específica que ocupa el objeto en la imagen para así construir la curva de luz correspondiente [28].

2.2.6 Procesamiento de datos fotométricos

Una vez adquiridas las imágenes de los objetos de interés y realizado el preprocesamiento, se deben realizar los procedimientos de preparación de los datos. Para esto se emplean las siguientes tareas que permitirán obtener la información para realizar la extracción de magnitudes instrumentales de los objetos estudiados.

2.2.6.1 Preparación del encabezado

Es necesario revisar los campos del encabezado de la imagen o lista de imágenes. De ésta forma se puede verificar si todos los campos necesarios para los cálculos están contenidos en éste o si es necesario agregar información adicional. La tarea **imheader** permite la revisión de un header corto en el que sólo se presentarán los campos: nombre, dimensión, tipo de pixel y título, o el header completo de la imagen con todos sus campos. Ésto se edita en el parámetro `longhead` de la tarea y se conserva para su ejecución posterior.

```
package images.imutil
>> epar imheader
images = image01.fits
(imlist = image*.fits
(longhea = no)
```

Una vez se ha modificado el parámetro `longhead`, con la opción de `yes`; se puede obtener el encabezado completo de una imagen o lista de imágenes. En éstas se verifican los siguientes campos necesarios:

- Tiempo de exposición
- Filtro
- Tipo de imagen
- Fecha de observación
- Ganancia

- Ascensión recta
- Declinación
- Época de coordenadas
- Tiempo sideral
- Masa de aire

A continuación se presenta un ejemplo

```
>> imheader imagendatos*.fits
No bad pixels, min=0., max=65535.
Line storage mode, physdim [1600, 1200]
Pixel file imagendatos.fits [ok]
BSCALE = 1.000E0
BZERO = 3.2768E4
DATE = 2016-11-05T03:42:51
IRAF-TLM = 2016-11-05T06:20:19
DATAMIN = 0
BIAS = 100
DATEOBS = 2016-03-16T07:05:23.225
SWCREATE = MaximDL
SET-TEMP = +5.0000E+00
IMAGETYP = Light Frame
XBINNING = 1
YBINNING = 1
INSTRUMENT = SBIG STF 8300
EGAIN = +6.100E-001
XPIXSZ = +7.4
YPIXSZ = +7.4
DATAMAX = 65535
EXPTIME = +9.0000E+001
```

En algunos casos es necesario agregar información sobre el objeto, ya que durante la observación ocurrió algún fallo o se olvidó de registrar. La información faltante se agrega con la tarea **hedit** del mismo paquete (imutil). Se puede agregar a una sola imagen, como el tiempo ST diferente para cada una; o se puede agregar el mismo campo a una lista de imágenes, como la ascensión recta de un objeto del que se tienen un grupo de imágenes.

```
package images.imutil
>> hedit imagen*.fits
images =
fields =
```

```
value =
(add = )
(addonly = )
(verify = )
(show = )
(update = )
```

Para agregar los campos con sus respectivos valores se ejecuta la siguiente línea:

```
>> hedit   imagen valor
```

Para los campos necesarios:

```
>> hedit  prefijodata*  RA   hh:mm:ss
>> hedit  prefijodata*  DEC   + grados:mm: ss
>> hedit  prefijodata01.fits  ST   hh:mm:ss
```

Si se revisa de nuevo el encabezado de la imagen se podrá observar que contiene los nuevos campos ingresados con sus valores correspondientes. Se puede observar que para ingresar los valores de ascensión recta y declinación se permite el formato usual de horas, minutos y segundos, pero IRAF lo transforma a grados para las operaciones con éstos campos como se muestra a continuación.

```
>> imheader 555_120s-0001_120s_f.cr.fits
RA = 13.70583
DEC = 1.5
EPOCH = 2000
ST = 12.73333
```

Configuración del sitio de observación

Otro campo del header que se puede configurar es el sitio de observación, con un nombre identificador, longitud, latitud, altura y zona horaria. En IRAF existen ciertos observatorios reconocidos y configurados en una base de datos que se distribuye internacionalmente con el software. Es necesario seleccionar el nombre del sitio de observación de la lista de observatorios, la cual se puede consultar en: <http://tdc-www.harvard.edu/iraf/rvsao/bcvcrr/obsdb.html> y solicitar ser adicionado al correo iraf@noao.edu. Para obtener la lista de observatorios en la base de datos local se emplea:

```
>> observatory  list
```

A continuación aparece la lista con el código y nombre completo correspondiente de los observatorios, en caso de no estar en ésta lista; el último observatorio de esta columna es obspars,

el cual corresponde a un nuevo observatorio, una vez se selecciona el observatorio presentará todos los campos a llenar con la información del observatorio. Se presenta un ejemplo con el Observatorio Astronómico de la UTP.

```
>>epar observatory
command = set (set-list-image)
obsid = oautp
images =
verbose = yes
observa = oautp
name = Observatorio Astronomico UTP
longitu = -75.69041236
latitud = 4.7904974
altitud = 1450
timezon = -5
override = obspars
```

Se pueden confirmar empleando:

```
>> observ list obspars
# Observatory parameters for Observatorio Astronomico UTP
observatory = obspars
timezone = -5
altitude = 1450
latitude = 4.7904974
longitude = -75.690412359
name = Observatorio Astronomico UTP
```

2.2.6.2 Cálculo de masa de aire

La masa de aire se define como una gran porción de aire, con una extensión horizontal de varios centenares de kilómetros, cuyas propiedades físicas, en especial temperatura, contenido de humedad y gradiente vertical de temperatura, son más o menos uniformes [29].

Para el cálculo de las magnitudes instrumentales debemos contar con el valor de masa de aire para cada imagen obtenida. Las funciones para cálculo de masa de aire pertenecen al paquete `noao.astutil`, en el cual hallamos dos tareas que realizan el cálculo. La primera tarea `airmass` sólo calcula el valor de la masa de aire con un ángulo de elevación sobre el horizonte como parámetro de ingreso. El principal parámetro que se puede modificar es el correspondiente a unidades del ángulo de entrada (radianes o grados).

```
package noao.astutil
```

```
>> epar airmass
elevation = 30 Elevación sobre el horizonte en grados.
(scale = 750.) Factor de escala de la atmósfera de la Tierra.
(radians = no) Elevación de entrada en radianes en lugar de grados. >> airmass 30
```

Para ingresar este valor calculado por IRAF al campo del encabezado de la imagen se tendría que ejecutar la tarea `hedit` para el valor obtenido para cada una de las imágenes, considerando que el ángulo de elevación es conocido. A diferencia de la tarea anterior, `setairmass` calcula la masa de aire tomando información del encabezado de las imágenes y agregando el valor calculado a un nuevo campo en el mismo (si el parámetro `update` está configurado como `yes`). Es importante que el encabezado cuente con la siguiente información del objeto: Ascensión recta, Declinación, equinoccio de las coordenadas (2000, 1950), hora sideral local (`st`), hora universal (`ut`), fecha, tiempo de exposición. Se debe verificar que los nombres de campos en el header coincidan con las palabras claves en los parámetros de la tarea. Con ésta tarea se puede realizar fácilmente el cálculo de la masa de aire para cada una de las imágenes contenidas en una lista o con un mismo prefijo.

```
>> setairmass @listaimagenes.lis
```

```
>> setairmass imagenes*
```

2.2.6.3 Extracción del FWHM

Para configurar los parámetros de las funciones de cálculo de magnitudes instrumentales es necesario conocer el FWHM⁶ de las estrellas en la imagen procesada. La tarea `imexamine` del paquete `images.tv` de IRAF permite la exploración de la imagen, interactuando con el visor de imágenes `ds9`. Para obtener el perfil estelar y FWHM se emplea [`r`], para estadística de una región cuadrada [`m`], para fotometría de la región [`a`], para salir de la tarea [`q`].

```
>> imexamine nombreimagen.fits marco
```

Para modificar parámetros de la tarea `imexamine` se modifican los parámetros de las tareas correspondientes. Para el FWHM es la tarea `imexamamine`. La cual permite editar las etiquetas de los ejes, banner y título, seleccionar si se muestra el ajuste gaussiano (`fitplot`), el método del ajuste (`fittype`) que puede ser: `gaussian` ó `moffat`⁷; la sustracción de valores de fondo (`background`), y características de la gráfica del perfil estelar.

Una vez el cursor se ubica sobre la estrella deseada se selecciona [`r`] y se obtiene una gráfica con el perfil estelar, el ajuste a los datos por la distribución seleccionada y el valor de FWHM

⁶FWHM: Full Width at Half Maximum o Ancho completo a media altura en español; este valor nos indica el diámetro de la estrella en pixels.

⁷Se recomienda el uso de ajuste tipo Moffat para las imágenes astronómicas de estrellas, ya que ésta distribución se ajusta mejor a la forma característica de los perfiles estelares.

en la sección derecha inferior, como se observa en la Figura 2.19. De esta forma se obtiene el valor para cada estrella en la imagen. Posteriormente, se deben promediar los valores por imagen procesada.

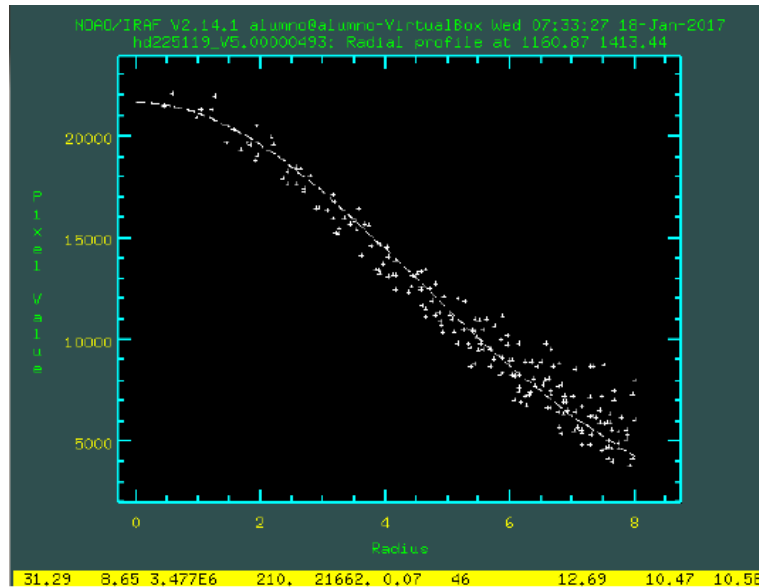


Figura 2.19: Gráfica de PSF y ajuste, obtenida a través de la tarea imexamine.

Otra tarea que permite el cálculo del FWHM es `psfmeasure` del paquete `noao.obsutil`. La medición se realiza con el comando `[m]` con el cursor posicionado sobre la estrella a medir, se pueden medir varias estrellas y el proceso se finaliza con `[q]`. Para obtener el perfil estelar de una estrella en una ventana emergente al mismo tiempo que se realiza la medición se emplea `[g]`, tras lo cual se obtiene la ventana emergente presentada en la Figura 2.20. Al finalizar la tarea se obtiene una gráfica donde se resumen los valores de FWHM y sus ubicaciones, al volver a salir `[q]` se obtiene como salida de texto los valores de FWHM medidos para cada estrella y el valor FWHM promedio en la imagen.

```
>> psfmeasure imagen
```

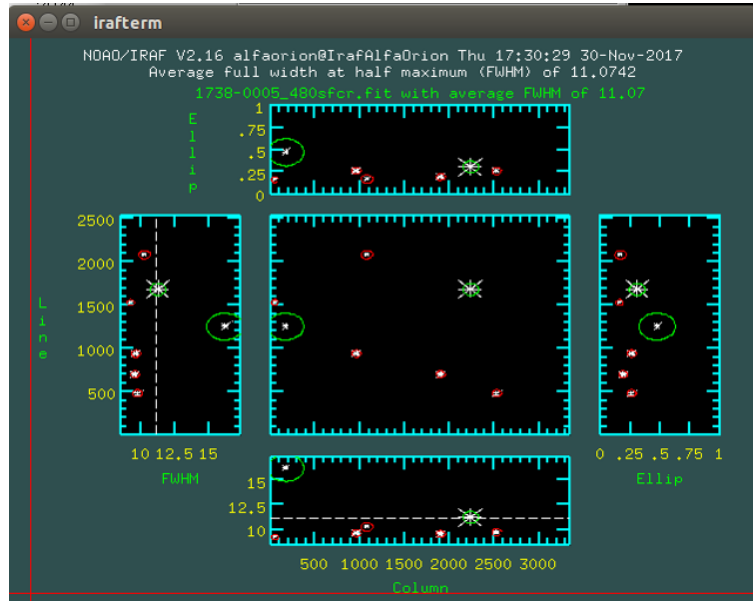


Figura 2.20: Ubicación de las estrellas medidas y estimación de FWHM.

2.2.6.4 Extracción de datos estadísticos

Se emplea la función `imexamine` de la sección anterior para obtener los datos de promedio de valores del fondo cielo y la desviación estándar para cada imagen. Se deben seleccionar diferentes regiones donde no hayan estrellas. Una vez obtenidos los valores, se promedian dichos valores y se calcula el parámetro `datamin` para cada imagen con la ecuación (2.1).

$$datamin = Fondodecielo - 8 * Desviacionestandardefondodecielo \quad (2.1)$$

2.2.6.5 Configuraciones para la extracción de magnitudes instrumentales

Para realizar la extracción de magnitudes instrumentales se deben configurar los parámetros de las tareas de apoyo del sub-paquete `apphot` del paquete `digiphot` del paquete `noao` de IRAF, con los valores encontrados y campos de encabezado definidos anteriormente.

Parámetros generales

Los campos del encabezado se definen con su nombre en el mismo (keyword). Los valores de ruido, ganancia de la CCD y valor máximo sólo se deben verificar y agregar al inicio del procesamiento, de forma tal que correspondan con los valores para la cámara de adquisición. Los valores `fwhmpsf` y `datamin` que proceden de la ecuación (2.1), se deben cambiar para cada imagen que se procese. La unidad escala es un pixel.

```

package noao.digiphot.apphot
>> epar datapars
(fwhmpsf = 16.065) FWHM de la PSF en unidades de escala
(datamin = 964.864) El valor calculado en la ecuación (2.1)
(datamax = 65536) Máximo valor, este viene dado por la cámara
(epadu = 0.3700000476837) Ganancia en electrones por cuenta
(exposure = exptime)
(airmass = airmass) Masa de aire
(filter = filter) Filtro
(obstime = time-obs) Hora en la que se realizo la observación
(itime = 60)

```

Parámetro de apertura

En la tarea photpars se modifica el valor de apertura, el cual se sugiere sea 2 a 3 veces el FWHM promedio de la imagen, con el fin que la apertura incluya la totalidad de la estrella.

```

package noao.digiphot.apphot
>> epar photpars
(aperture = 38.88) Radio de apertura en unidades de escala

```

Parámetros de fondo de cielo

La tarea fitskypars corresponde a la configuración de los radios de apertura de cielo, es un anillo con radio interno del valor de annulus y ancho dannulus. El algoritmo de ajuste de cielo salgorithm puede ser: constant, mean, median, mode, centroid, gauss. La Figura 2.21, muestra como ejemplo de apertura, annulus y dannulus. Hay que recordar que es muy importante estos valores, ya que estos son los parámetros para calcular la magnitud instrumental, además dentro de los círculos azules de la Figura 2.21, no puede haber otra estrella porque la tarea que calcula la magnitud la representará como error.

```

package noao.digiphot.apphot
>> epar fitskypars
(salgorithm = median) Algoritmo de ajuste del cielo
(annulus = 69.48) Radio interior del anillo del cielo en unidades de escala
(dannulus = 8) Ancho del anillo del cielo en unidades de escala

```

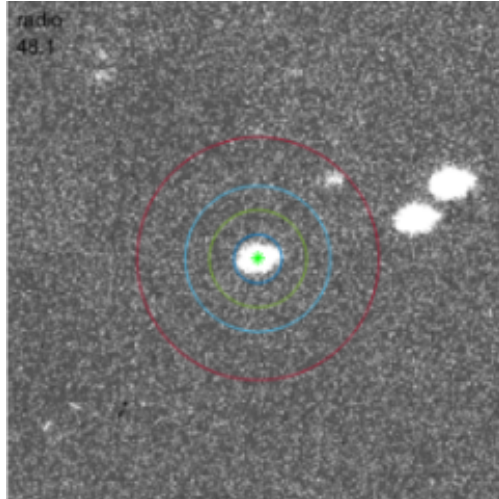


Figura 2.21: Apertura círculo verde, Annulus círculo azul y Dannulus círculo rojo.

Parámetros de centroide

Se configuran sólo al inicio del procesamiento los parámetros del centroide para emplear en las aperturas. El tamaño de la caja del centroide debe estar entre 5 y 8 unidades escala.

```
package noao.digiphot.apphot
>> epar centerpars
(calgori = centroid) Algoritmo de centrado
```

2.2.6.6 Cálculo de las magnitudes instrumentales

Una vez se han configurado los parámetros de las tareas anteriores se procede con la medición interactiva de las magnitudes de las estrellas de interés y del asteroide en la imagen. Se emplea la tarea **phot** del paquete noao.digiphot.apphot, la cual realiza una fotometría de apertura utilizando la ecuación (2.2). Las imágenes deben estar cargadas en el visualizador DS9, donde se selecciona la estrella a medir con [] (barra espaciadora) y la tarea dará el valor de magnitud instrumental en la ventana de comando para cada una. Para finalizar el procedimiento se emplea [q] sobre la imagen y de nuevo en la ventana de comando, ésto generará un archivo de extensión mag.1 donde quedan guardados todos los valores, como se puede observar en la Figura 2.22.

$$mag = zmag - 2.5 * \log_{10}(flujo) + 2.5 \log_{10}(itime) \quad (2.2)$$

donde:

mag= magnitud del objeto

zmag= escala del punto cero de magnitud
 flujo= es la mejor estimación del cielo
 itime=tiempo de integración

```

apphot> phot 1/38-0005_480sfcr.fit inter=yes
Warning: Graphics overlay not available for display device.
1738-0005_480sfcr.fit 2237.86 1680.31 2220.486 14.198 err


apphot> 
```

Figura 2.22: Sección del archivo resultado de la extracción de magnitudes.

2.2.6.7 Fotometría simultánea de más de una estrella

En un campo en el que se encuentran gran cantidad de estrellas es posible realizar la medición de la magnitud de estas a partir de sus coordenadas, en lugar de seleccionar manualmente cada una. Una vez se ha realizado el pre-procesamiento de la imagen se realiza la marcación de las estrellas con la tarea daofind del paquete noao.digiphot.apphot. Ésta tarea identifica las estrellas en la imagen a partir de los parámetros configurados con las tareas de apoyo datapars y findpars. Al ejecutar la tarea se genera un archivo con el mismo nombre de la imagen y la extensión .coo.#. Si en el parámetro output se deja como default, cada vez que se genere un nuevo archivo de coordenadas el número # al final aumentará.

```

package noao.digiphot.apphot
>> epar daofind
image =
(output = default)
(interactive = no)
```

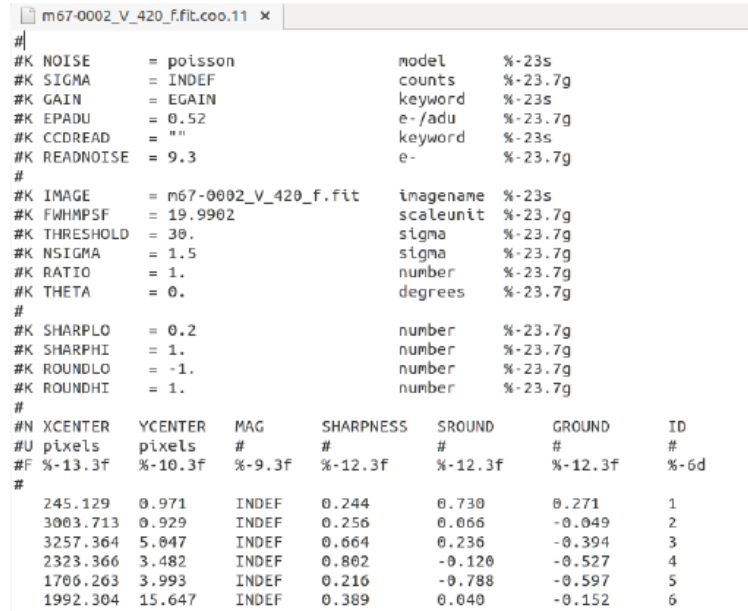
Las tareas que se deben configurar antes de ejecutar daofind son: datapars y findpars. Donde la tarea datapars ya se ha configurado en la sección de configuraciones. Para ésta sección es fundamental el parámetro sigma, el cual puede ser INDEF o bien un valor asignado por el usuario. Treshold y sigma son los parámetros fundamentales para hallar las estrellas en el campo, con un treshold alto (100) se encontrarán sólo las estrellas brillantes, con un threshold bajo (30) también las estrellas débiles. Sin embargo, será más fácil que se incluyan datos que representen ruido, ya que la tarea emplea treshold x sigma por encima del valor de fondo local y FWHM para hallar las estrellas.

```

package noao.digiphot.apphot
>> epar findpars
(treshold = 30)
(mkdetect = no)
```

```
>> daofind imagen.fit
```

En el archivo se registran los parámetros de configuración empleados, la posición en pixeles de cada objeto detectado y un número identificador correspondiente, como se observa en la Figura 2.23. En el archivo existe una columna de magnitud, la cual es calculada con el pico de densidad y el umbral de detección.



```
#|
#K NOISE      = poisson          model      %-23s
#K SIGMA      = INDEF            counts     %-23.7g
#K GAIN        = EGAIN           keyword     %-23s
#K EPADU       = 0.52            e-/adu     %-23.7g
#K CCDREAD     = ""             keyword     %-23s
#K READNOISE   = 9.3            e-          %-23.7g
#
#K IMAGE       = m67-0002_V_420_f.fit  imagenname %-23s
#K FWHMPSF     = 19.9902            scaleunit  %-23.7g
#K THRESHOLD   = 30.                sigma      %-23.7g
#K NSIGMA      = 1.5                sigma      %-23.7g
#K RATIO       = 1.                 number     %-23.7g
#K THETA       = 0.                 degrees    %-23.7g
#
#K SHARPLO     = 0.2                number     %-23.7g
#K SHARPHI     = 1.                 number     %-23.7g
#K ROUNDLO     = -1.                number     %-23.7g
#K ROUNDHI     = 1.                 number     %-23.7g
#
#N XCENTER    YCENTER    MAG      SHARPNESS  SROUND    GROUND    ID
#U pixels     pixels     #         #          #         #         #
#F %-13.3f    %-10.3f    %-9.3f  %-12.3f    %-12.3f    %-12.3f    %-6d
#
245.129      0.971      INDEF    0.244      0.730      0.271      1
3003.713     0.929      INDEF    0.256      0.066      -0.049     2
3257.364     5.047     INDEF    0.664      0.236      -0.394     3
2323.366     3.482     INDEF    0.802      -0.120     -0.527     4
1706.263     3.993     INDEF    0.216      -0.788     -0.597     5
1992.304     15.647    INDEF    0.389      0.040      -0.152     6
```

Figura 2.23: Archivo de coordenadas que se obtiene al ejecutar la tarea daofind.

Con ésta lista de coordenadas y considerando la configuración previa de la tarea phot, se puede ejecutar la tarea phot empleando la siguiente sintaxis:

```
>> phot imagen.fit coords = imagen.fit.coo.1
```

De ésta forma IRAF calcula la magnitud para cada posición de coordenadas en el archivo, sin importar si éstas son estrellas o no. Por lo tanto, ahora se deben asociar los identificadores a las estrellas de interés. Ésto se puede realizar de forma visual empleando la tarea tvmark con la siguiente sintaxis, que permite cargar la marcación de las estrellas en la imagen previamente cargada en el visualizador. En la Figura 2.24 se muestra un ejemplo de como se ven marcadas las estrellas.

```
>> tvmark frame = 1 coords = imagen.fit.coo.1 label = no number = yes txsize = 5
```

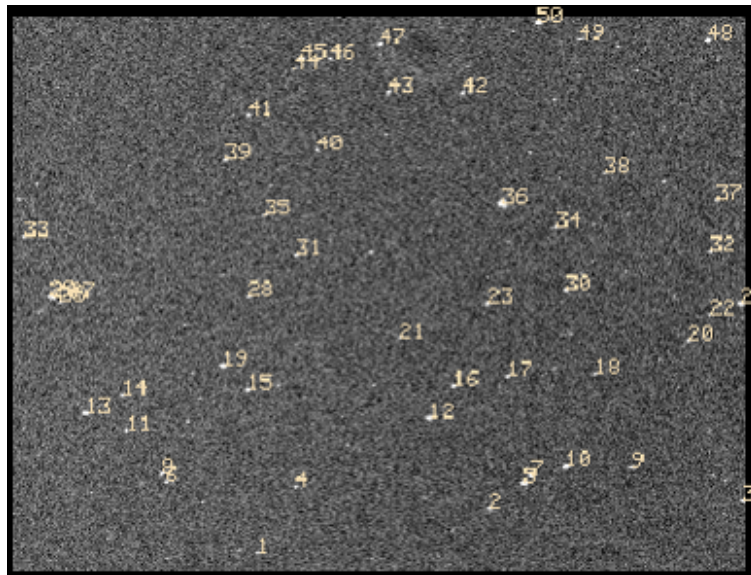


Figura 2.24: Campo de estrellas con las coordenadas del archivo marcadas.

En caso de observar que no toma las estrellas deseadas se deben re-configurar los parámetros de la tarea `daofind`, principalmente `threshhold`.

2.3 Construcción de curvas de luz

Una curva de luz es una gráfica de la intensidad de luz de un objeto celeste, en función del tiempo. La curva de luz se suele construir a partir de luz de una región particular del espectro o banda fotométrica: por ejemplo banda B, con filtro azul o banda V, con filtro verde. Para el caso del objeto de estudio se trabajó en la banda V y sin filtro. Para la construcción de las curvas de luz se diseñó el esquema de la Figura 2.25

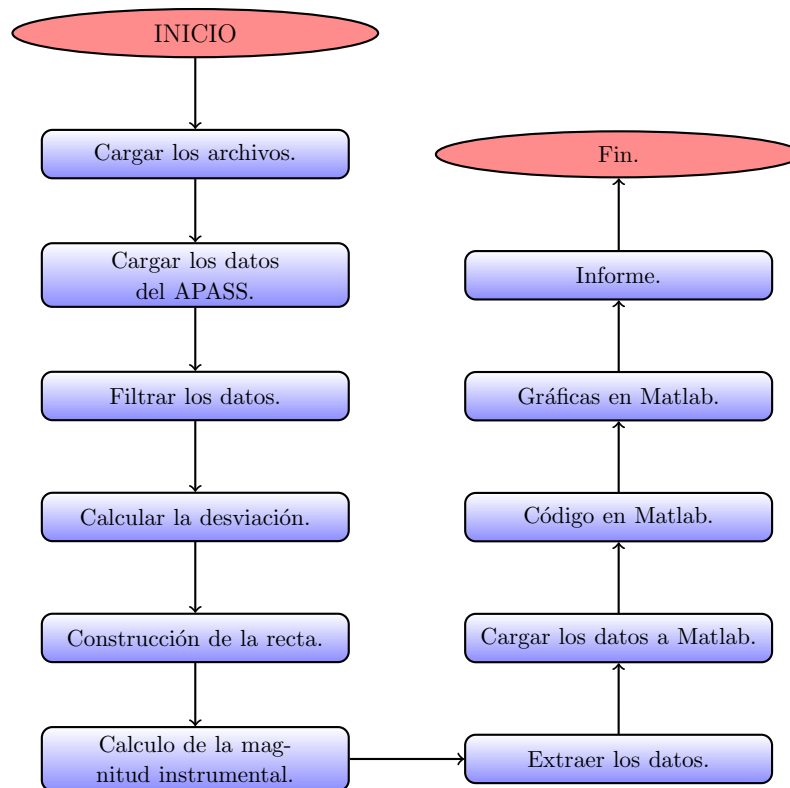


Figura 2.25: Diagrama de la metodología para el manejo del telescopio del OAUTP.

Una vez se tienen los datos de la fotometría de las imágenes, se procede con la carga del archivo de magnitudes. Este trabajo se realizó en excel, ya que debido a su estilo de cuadrículas es más fácil visualizar los datos de la magnitud y el error instrumental en todas columnas del archivo que genera IRAF. En la Figura 2.26, se muestra un ejemplo de como se ven los datos que hay que extraer. Todos las magnitudes que se extraen se ingresaron a un formato ⁸ que se creo en Excel, donde se debe registrar la magnitud y el error de todas las estrellas y el asteroide.

⁸El formato esta disponible en el drive del OAUTP: Drive2018 Asteroideal Belt Comets Mediciones y Observaciones

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
67	#															
68	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC
69	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC
70	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC
71	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC
72	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC
73	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC
74	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC
75	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC
76	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC
77	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC
78	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC
79	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC
80	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC
81	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC
82	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC
83	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC
84	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC
85	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC
86	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC
87	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC
88	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC
89	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC
90	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC
91	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC
92	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC
93	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC	RA	DEC

Figura 2.26: Ejemplo de como se visualiza en Excel el archivo que genera IRAF, los datos rojos son los archivos que hay que extraer (Magnitud y error).

2.3.1 Catálogo APASS

A través de una cooperación del Fondo de Ciencias Robert Martin Ayers, la AAVSO realizó una encuesta fotométrica en todo el cielo. Esta encuesta se realiza en cinco filtros: Johnson B y V, más Sloan g' , r' , i' . Donde la fotometría estandarizada es precisa y confiable en el rango 7 MAG a 17 MAG. En este rango de magnitud tiene una gran demanda por los observadores e investigadores. Creando así AAVSO Photometry All Sky Survey (APASS) es un catálogo con 61.176.401 estrellas que cubren el cielo desde -90 hasta $+90$ grados en declinación, hasta magnitud $+17$, y que contiene muchas estrellas más tenues. El énfasis está en datos de magnitud fotométricos precisos ⁹.

Una vez se ejecute el programa del catálogo APASS, el cual funciona mediante la plataforma java y con la herramienta seqplot se descargan los datos. Seguidamente se ingresa los datos de coordenadas del campo, la magnitud limite de las estrellas, el tamaño del campo y se deben seleccionar las opciones APASS(29) y BSM- South(37) que son las bases de datos donde hay más estrellas. Ahora, se deben comparar la foto del archivo de coordenadas y el catálogo; se intenta buscar todas las estrellas que coincidan en las dos imágenes para extraer los datos magnitud y error (Ver Figura 2.27). Hay que tener presente que todas las estrellas que no se encuentran en el catálogo se deben eliminar porque no hay como comparar su valor instrumental con otro. Posteriormente, se registran los datos instrumentales y del catálogo de la magnitud y error en una tabla.

⁹El catálogo APASS esta disponible en: <https://www.aavso.org/apass>

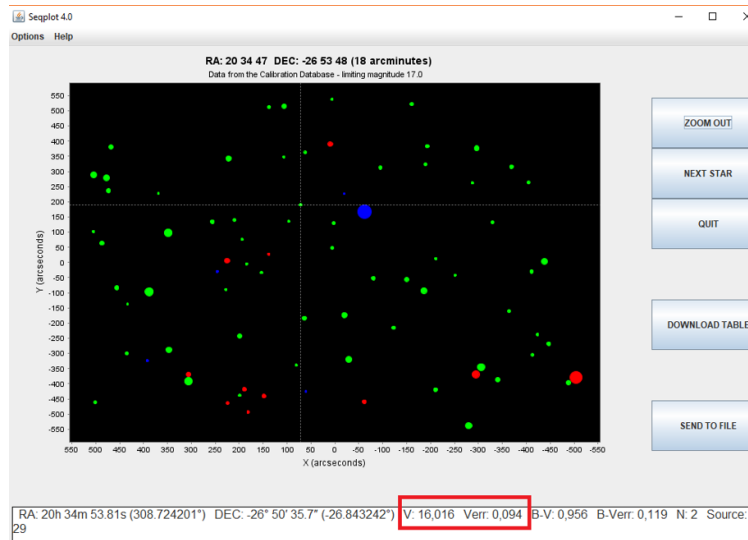


Figura 2.27: Catálogo APASS, en rojo los datos que hay que extraer magnitud y error

Una vez se tienen en la tabla las magnitudes instrumentales y del catálogo, se hace un diferencia entre ellas y se les obtiene la desviación estándar con el fin de identificar que datos salen del promedio. Aquellos que presentan un error muy alto se eliminan. Lo ideal es que la desviación se muy parecida al error instrumental promedio. Seguidamente, se construye una gráfica donde en el eje x va la magnitud instrumental y en el eje y la magnitud de catálogo. La gráfica debe ser un recta a la cual se le obtiene su ecuación y el valor del coeficiente de correlación¹⁰, el valor del coeficiente nos indica que tan lineal son los datos y la ecuación se emplea para calcular el valor real de la magnitud de las estrellas y el asteroide (Ver figure 2.28)

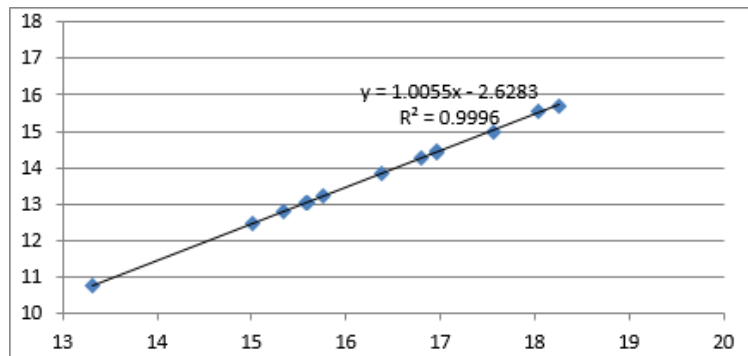


Figura 2.28: Ejemplo de como calcular la magnitud real de las estrellas y el asteroide con la ecuación de la recta

¹⁰Coeficiente de correlación de Pearson (R^2); este coeficiente nos informa del grado de relación entre dos variables. Si la relación es lineal perfecta, r será 1 ó -1

El sitio de ALCDEF muestra los gráficos individuales para los datos enviados, así como un gráfico de longitud de bisectriz del ángulo de fase que resalta la longitud de una curva de luz seleccionada. Esto permite determinar la amplitud de la cobertura (diferentes aspectos de visualización) para el modelado y las observaciones de planificación. Los bloques de curva de luz individuales o el conjunto completo para un asteroide dado se pueden descargar como un archivo compatible con ALCDEF.

Para la presente metodología esta base datos fue utiliza para la consulta de los periodos de rotación de los asteroides, además de que se enviaron todas nuestras observaciones a esta base de datos de curvas de luz.

Capítulo 3

Resultados

La metodología presentada en el capítulo anterior se ejecutó en el OAUTP, con la instrumentación que se tiene disponible. Al aplicar los procedimientos se obtuvieron los siguientes resultados.

3.1 Oosterhoff (1738)

El asteroide Oosterhoff se registro los días 22 de septiembre y el 26 de octubre del año 2017. Se contruyeron las Tablas 5.1 y 5.2 que se encuentran en los anexos. Cada una presenta los datos que corresponden a la magnitud instrumental para el asteroide y las estrellas de referencia, así como el error, la hora juliana y el porcentaje de la fase que se observó.

Para la construcción de la curva de luz se eligieron dos estrellas de control con magnitudes ligeramente superiores e inferiores a las calculadas para el asteroide. La Figuras 3.1 y 3.4 identifican las estrellas de control seleccionadas del catalogo APASS para cada caso. Por otra parte las Figuras 3.2 y 3.3 representa la curva de luz del asteroide para el asteroide en septiembre y las Figuras 3.5 y 3.6 visualiza la curva de luz del asteroide en octubre. Para cada imagen se representa el asteroide, las estrellas de control, tanto para HJD y la fase, respectivamente.

Al analizar las Figura 3.3, se puede apreciar que se observó el 30% de la fase, en la cual se puede evidenciar la rotación del asteroide, mientras que para la Figura 3.6, se observó 16%, además, el espacio en blanco que se puede apreciar las Figuras 3.5 y 3.6 corresponde a las imágenes no tuvieron una buena calidad, por eso se eliminaron esos datos. Sin embargo, comparando las dos noches, a pesar de que se pudo observar menos tiempo el asteroide en la segunda noche, los errores de los datos son más pequeños con respecto a la primera producto a que ese día la noche pudo tener un mejor seeing¹.

¹Seeing es una medida de la variación del camino óptico que recorre la luz a través de la turbulenta atmósfera en el sitio de observación

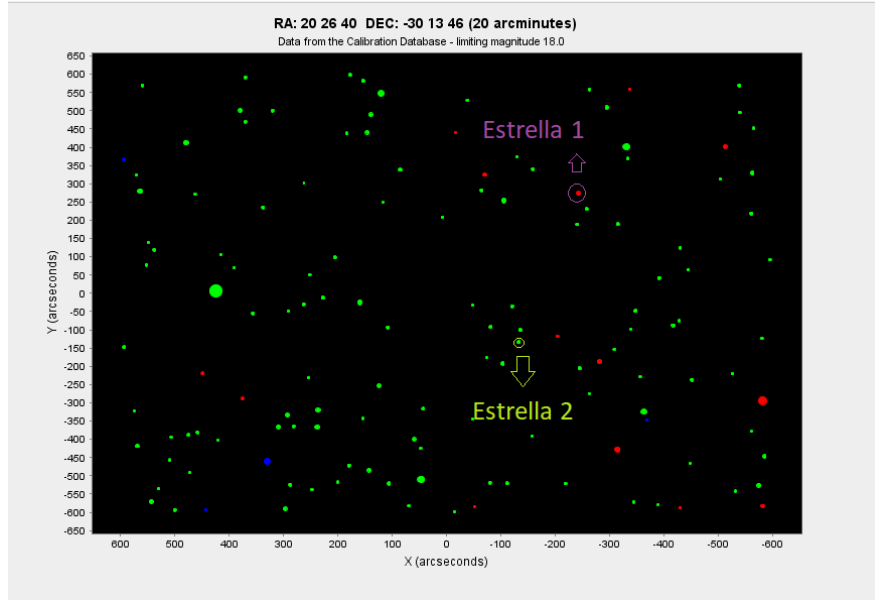


Figura 3.1: Estrellas de control seleccionadas del catalogo APASS para Oosterhoff, el día 22-09-17.

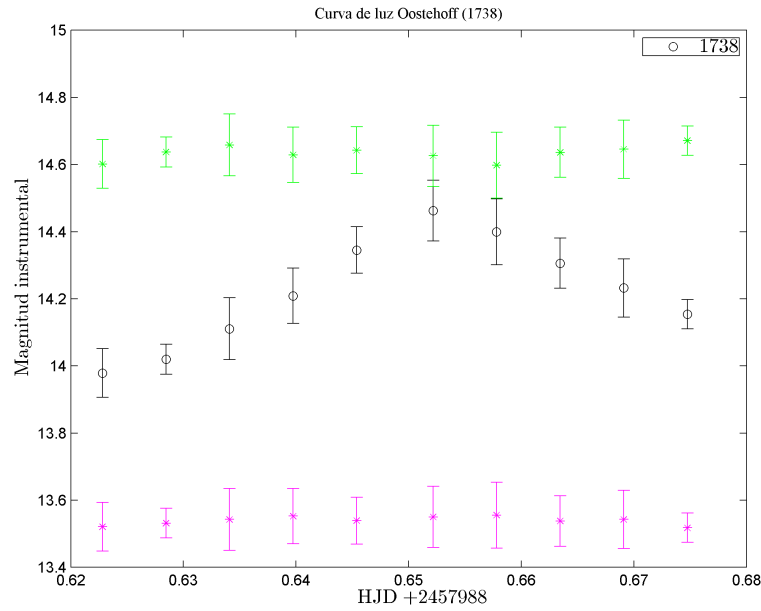


Figura 3.2: Curva de luz obtenida para Oosterhoff, el día 22-09-17.

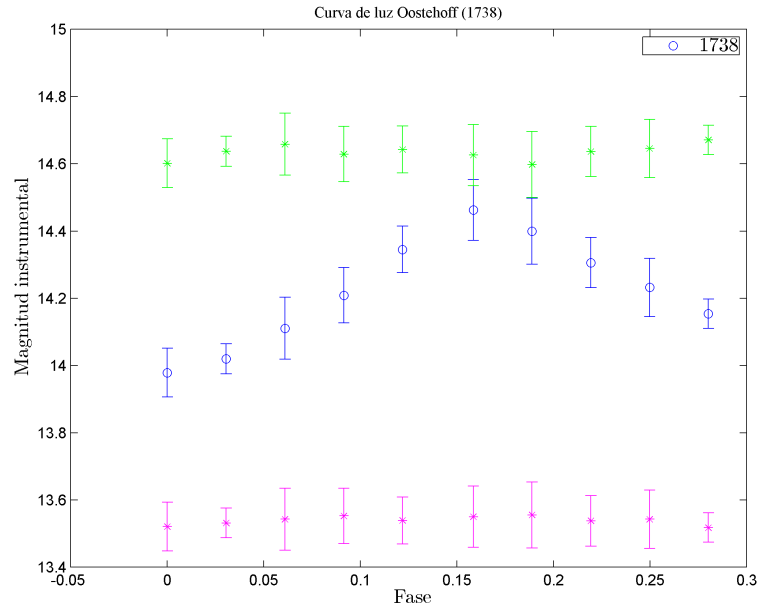


Figura 3.3: Curva de luz en función de la fase obtenida para Oosterhoff, el día 22-09-17.

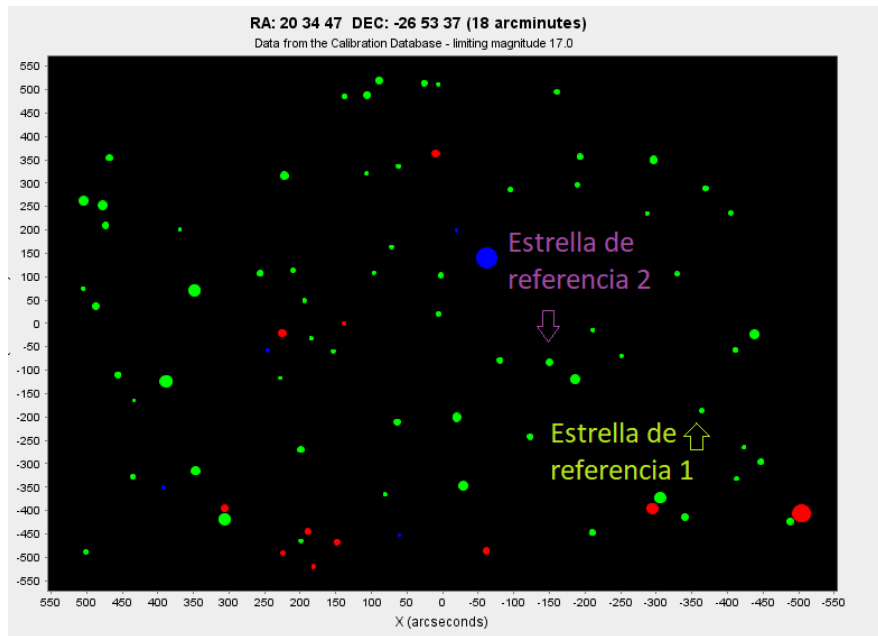


Figura 3.4: Estrellas de control seleccionadas del catalogo APASS para Oosterhoff, el día 26-10-17.

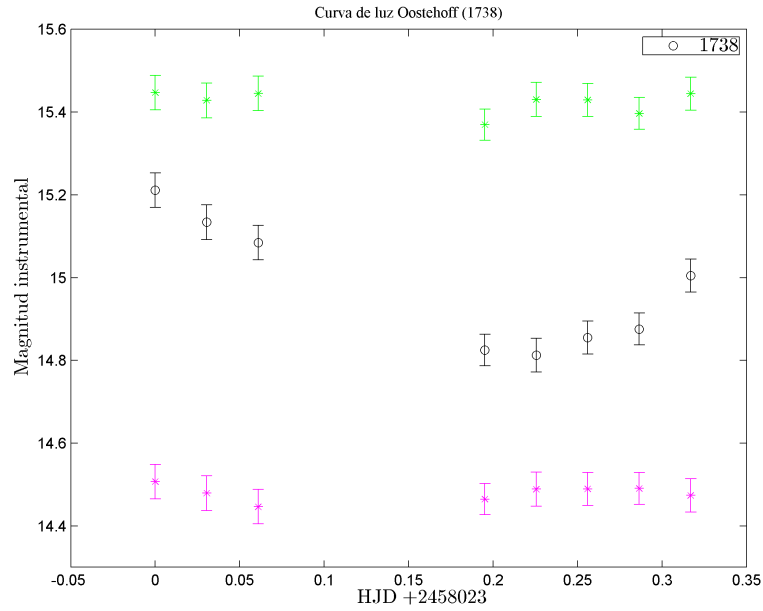


Figura 3.5: Curva de luz obtenida para Oosterhoff, el día 26-10-17.

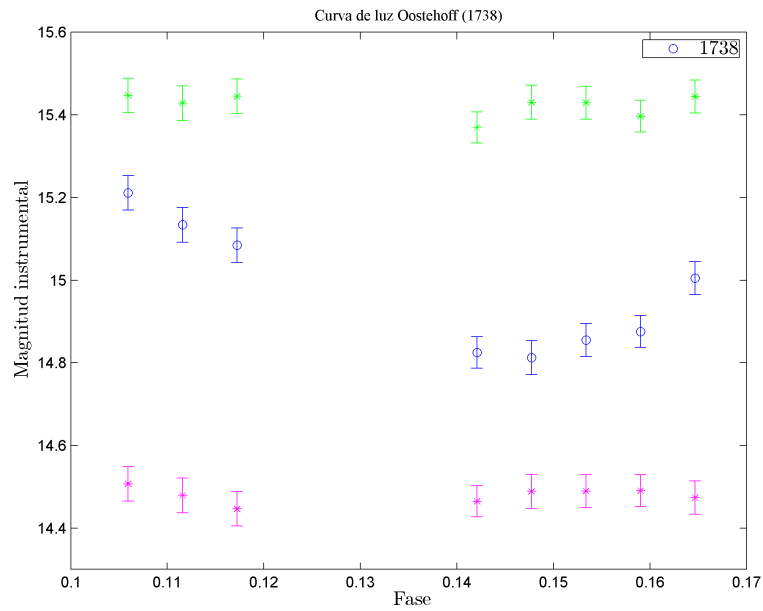


Figura 3.6: Curva de luz en función de la fase obtenida para Oosterhoff, el día 26-10-17.

3.2 Strasbourg (4690)

El asteroide Strasbourg se registro los días 13 de diciembre del 2017 y el 10 de marzo del año 2018. Se contruyeron las Tablas 5.3 y 5.4 que se encuentran en los anexos. Donde cada una presenta los datos que corresponden a la magnitud instrumental para el asteroide y las estrellas de referencia, así como el error, la hora juliana y el porcentaje de la fase que se observó.

Para la construcción de la curva de luz se eligieron dos estrellas de control con magnitudes ligeramente superiores e inferiores a las calculadas para el asteroide. La Figuras 3.7 y 3.10 identifican las estrellas de control seleccionadas del catalogo APASS para cada caso. Por otra parte las Figuras 3.8 y 3.9 representa la curva de luz del asteroide para el asteroide en diciembre y las Figuras 3.11 y 3.12 visualiza la curva de luz del asteroide en marzo. Para cada imagen se representa el asteroide, las estrellas de control, tanto para HJD y la fase, respectivamente.

Al analizar las Figura 3.8 y 3.9 se puede apreciar un espacio en blanco que corresponde a las imágenes no tuvieron una buena calidad, por eso se eliminaron esos datos. Para Figuras 3.11 y 3.12 solo se contó con estrellas de control más brillantes.

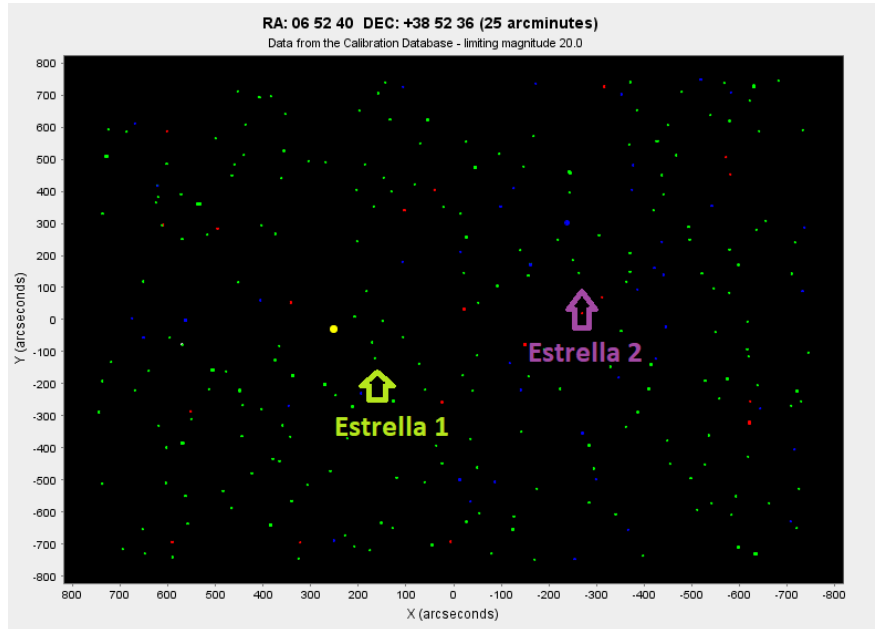


Figura 3.7: Estrellas de control seleccionadas del catalogo APASS para Strasbourg, el día 13-12-17.

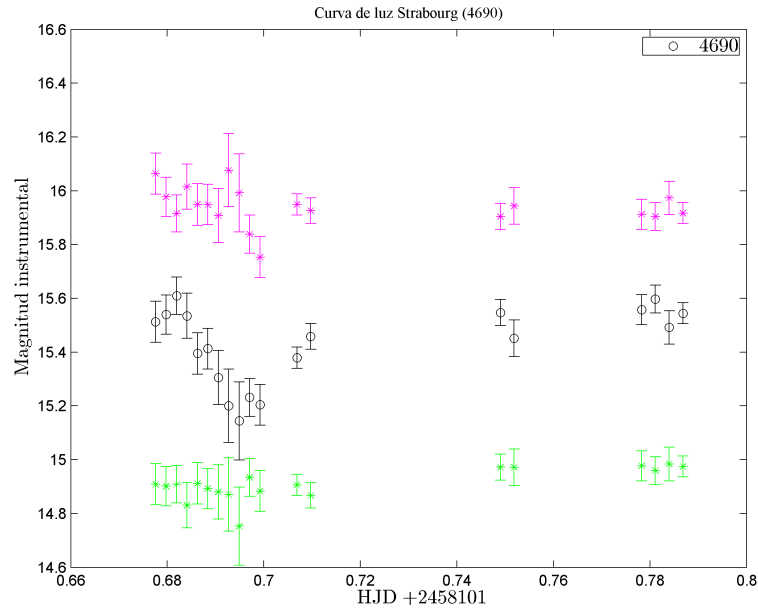


Figura 3.8: Curva de luz obtenida para Strabourg, el día 13-12-17.

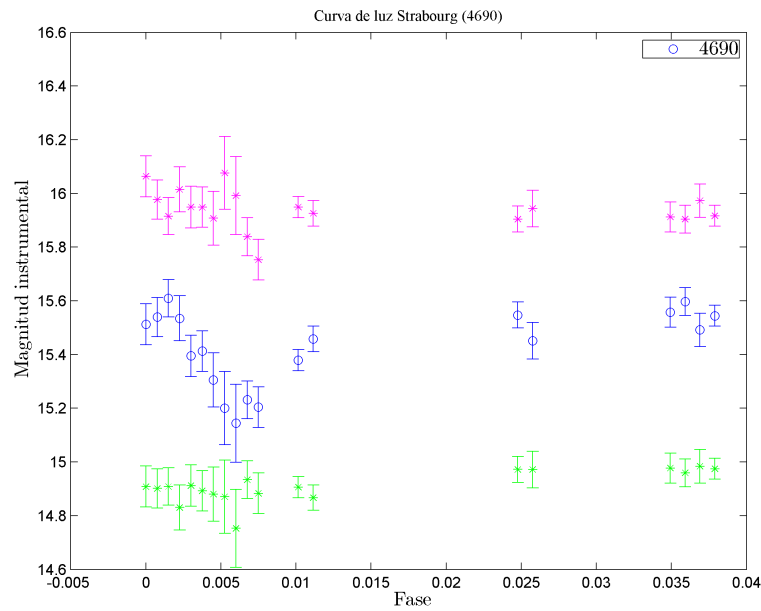


Figura 3.9: Curva de luz en función de la fase obtenida para Strabourg, el día 13-12-17 .

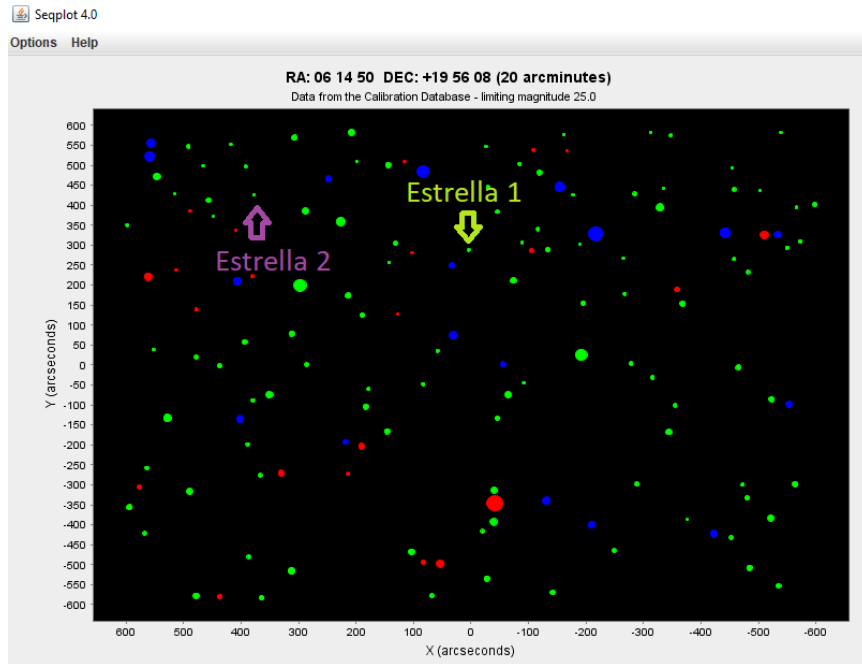


Figura 3.10: Estrellas de control seleccionadas del catalogo APASS para Strasbourg, el día 10-03-18.

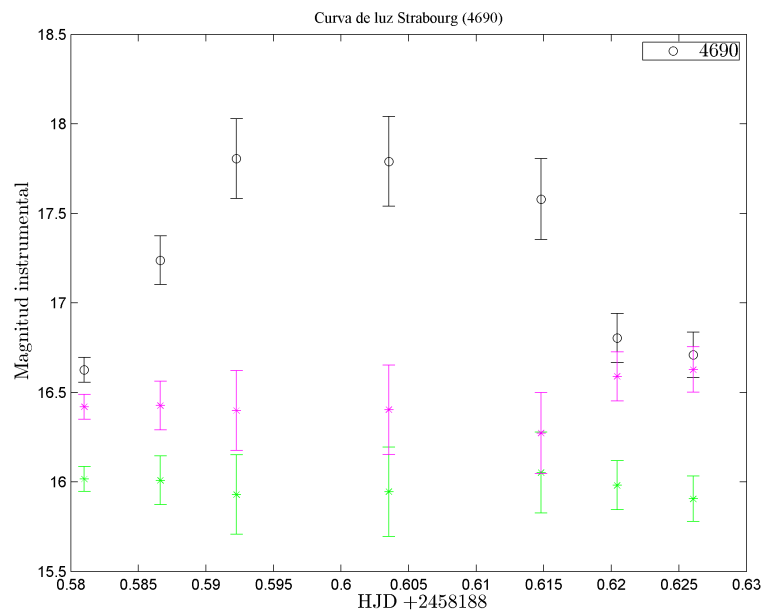


Figura 3.11: Curva de luz obtenida para Strasbourg, el día 10-03-18.

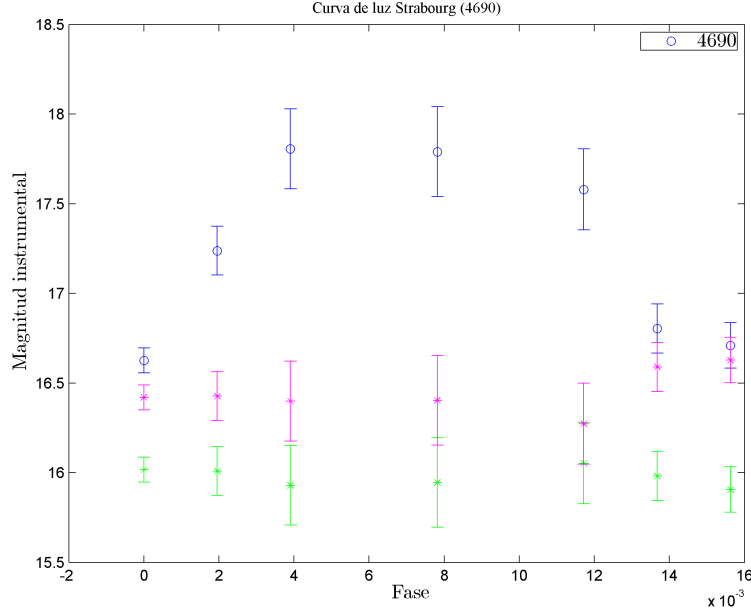


Figura 3.12: Curva de luz en función de la fase obtenida para Strabourg, el día 10-03-18.

3.3 Phaethon(3200)

El asteroide Phaethon se registro el día 29 de diciembre del 2017, unos días antes de su máximo acercamiento a la tierra. Se contruyó la Tabla 5.5 que se encuentra en los anexos. Donde se presenta los datos que corresponde a la magnitud instrumental para el asteroide y las estrellas de referencia, así como el error, la hora juliana y el porcentaje de la fase que se observó.

Para la construcción de la curva de luz se eligió una estrella de control con magnitud ligeramente inferior a la calculada para el asteroide. La Figura 3.13 identifica la estrella de control seleccionada del catalogo APASS para cada caso. Por otra parte la Figura 3.14 y 3.15 representa la curva de luz del asteroide. Para cada imagen se representa el asteroide, las estrellas de control, tanto para HJD y la fase, respectivamente.

Al analizar las Figuras 3.14 y 3.15, se puede observar que tiene un gran incertidumbre en el barras de error, esto es producto de que el asteroide se movía muy rápido y todas las imágenes tenían un tiempo de exposición de 5 segundos.

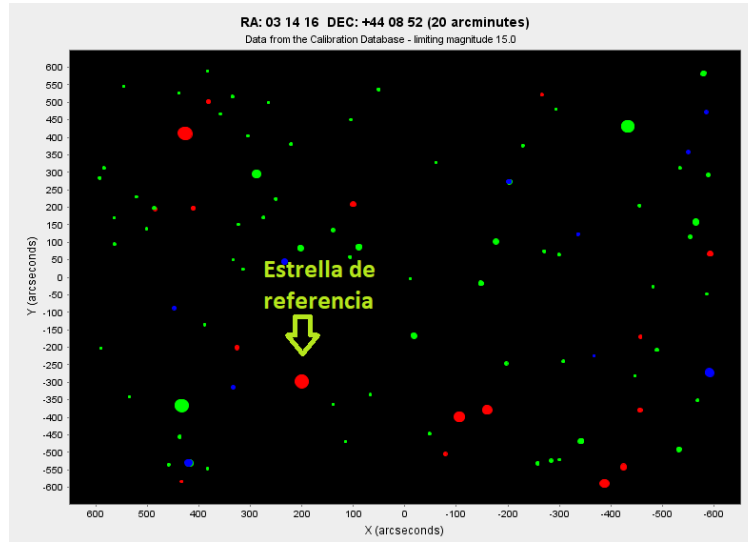


Figura 3.13: Estrellas de control seleccionadas del catalogo APASS para Phaethon.

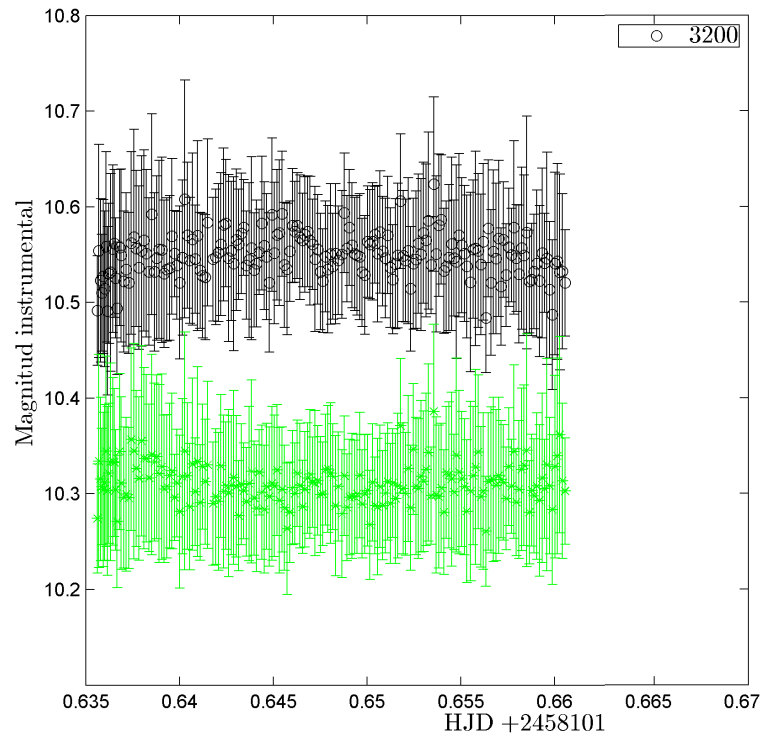


Figura 3.14: Curva de luz obtenida para Phaethon.

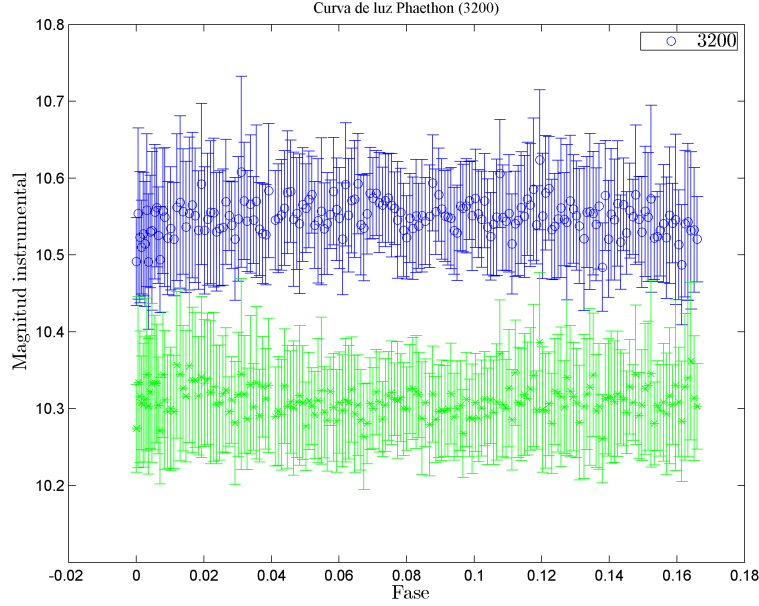


Figura 3.15: Curva de luz en función de la fase obtenida para Phaethon.

3.4 Tellervo(2717)

El asteroide Tellervo se registro los días 12 y 13 de marzo del 2018. Se contruyeron las Tablas 5.6 y 5.7 que se encuentra en los anexos. Donde cada una presenta los datos que corresponden a la magnitud instrumental para el asteroide y las estrellas de referencia, así como el error, la hora juliana y el porcentaje de la fase que se observó.

Para la construcción de la curva de luz del asteroide se eligieron dos estrellas de control con magnitudes ligeramente superiores e inferiores a las calculadas para el asteroide. Las Figuras 3.16 y 3.19 identifican las estrellas de control seleccionadas del catalogo APASS para cada caso. Por otra parte las Figuras 3.17 y 3.18 representan la curva de luz del asteroide para el asteroide el 12 de marzo y las Figuras 3.20 y 3.21 el asteroide el 13 marzo, aunque para este caso particular la Figura 3.19; tenemos una estrella más brillante de color verde y tenemos una estrella más tenue en una parte de la curva (Color amarillo), y tenemos nuevamente una estrella más brillante de color purpura, ya que como transcurrió tanto tiempo entre las primeras 5 fotos y las 4 últimas, no se tienen las mismas estrellas de fondo. Finalmente, para cada imagen se representa el asteroide, las estrellas de control, tanto para HJD y la fase, respectivamente.

Al analizar las Figura 3.18, se puede apreciar que se observó el 12% de la fase, en la cual se puede evidenciar la rotación del asteroide, mientras que para la Figura 3.21, se observó

35%. Las Figuras 3.20 y 3.21 tienen un espacio en blanco, corresponde a las imágenes no tuvieron una buena calidad, por eso se eliminaron esos datos, además, la estrella control más tenue, no se mantuvo durante toda la noche, esto es producto de que se cambio el campo de la imagen en el transcurso de la noche.

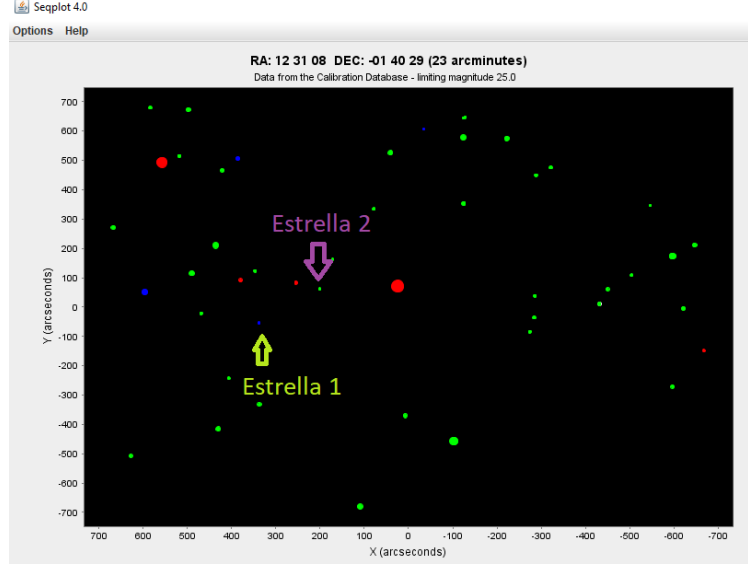


Figura 3.16: Estrellas de control seleccionadas del catalogo APASS para TellerVO, el día 12-03-18.

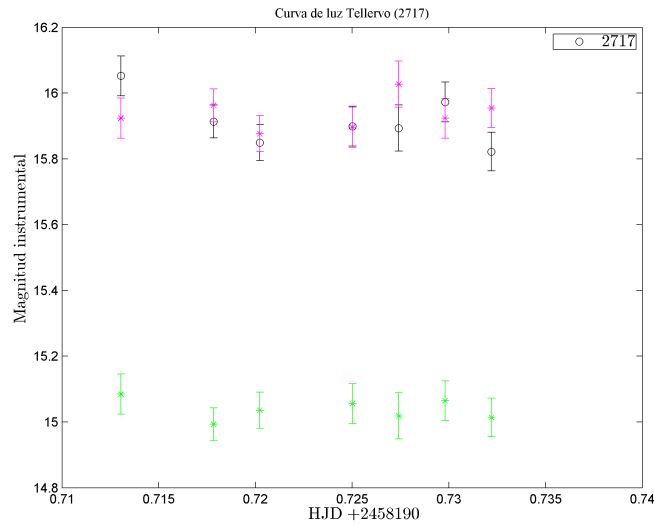


Figura 3.17: Curva de luz obtenida para TellerVO, el día 12-03-18.

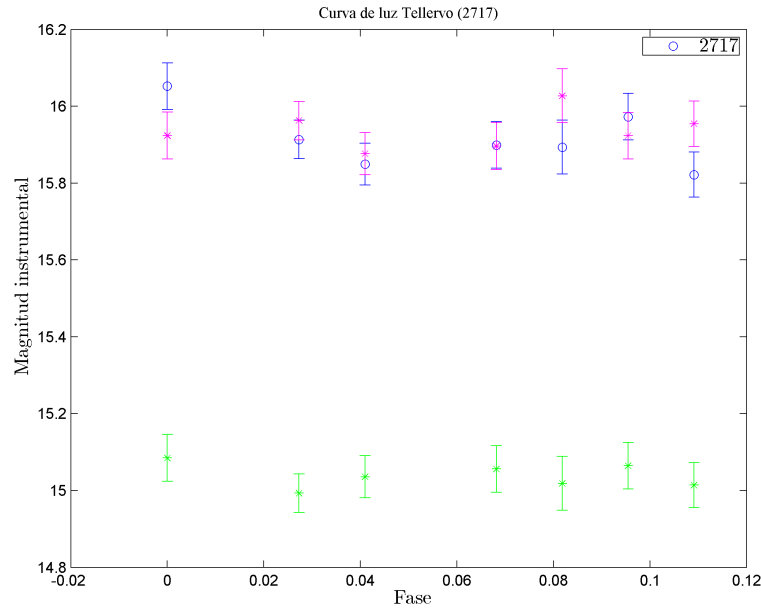


Figura 3.18: Curva de luz en función de la fase obtenida para Tellervo, el día 12-03-18.

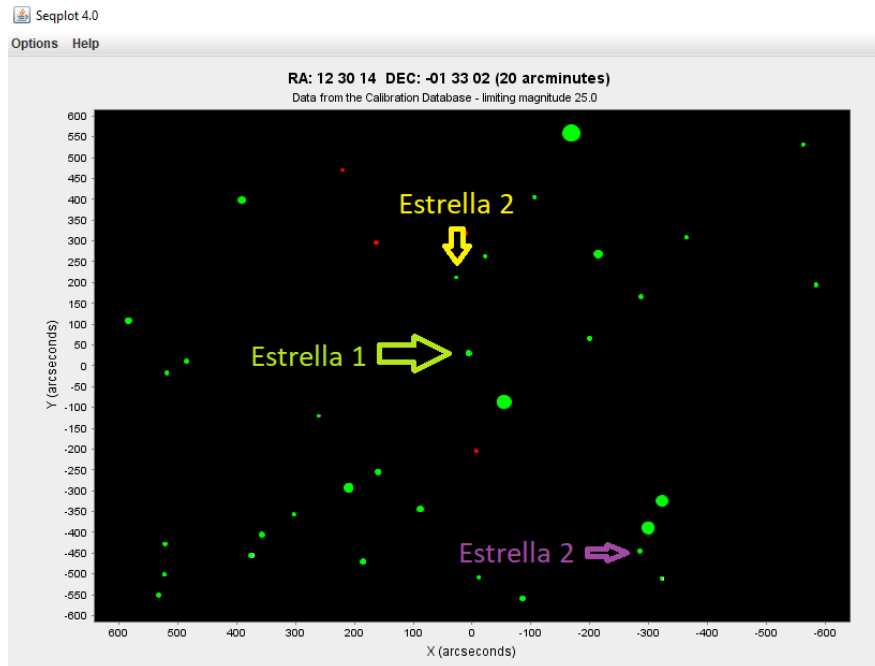


Figura 3.19: Estrellas de control seleccionadas del catalogo APASS para Tellervo, el día 13-03-18.

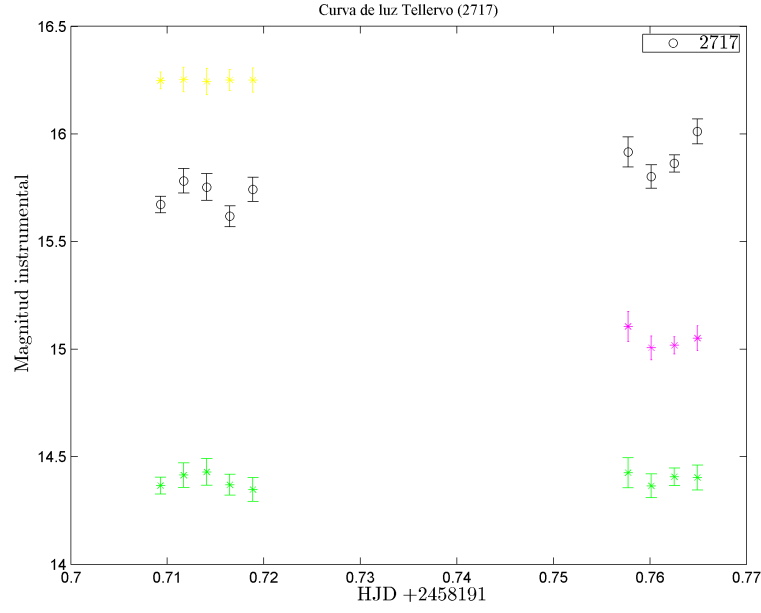


Figura 3.20: Curva de luz obtenida para Tellervo, el día 13-03-18.

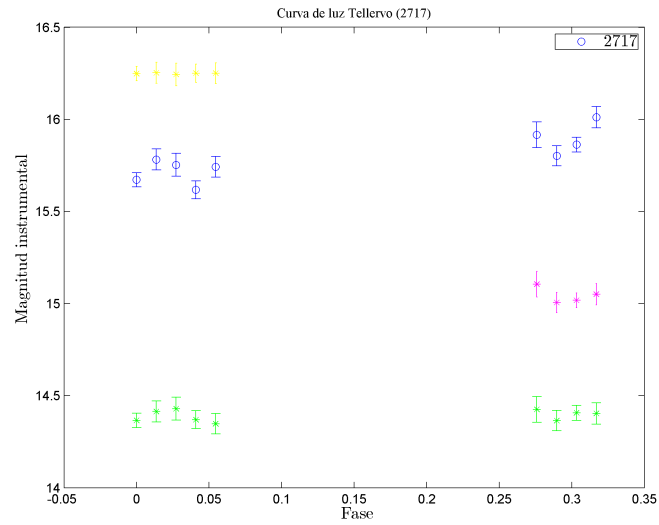


Figura 3.21: Curva de luz en función de la fase obtenida para Tellervo, el día 13-03-18.

3.5 Norma(555)

El asteroide Norma se registro los días 10 y 12 de marzo del 2018 y 16 de abril del 2018. Se construyeron las Tablas 5.8, 5.9 y 5.10 que se encuentra en los anexos. Donde cada una presenta los datos que corresponde a la magnitud instrumental para el asteroide y las estrellas de referencia, así como el error, la hora juliana y el porcentaje de la fase que se observó.

Para la construcción de la curva de luz del asteroide se eligieron dos estrellas de control con magnitudes ligeramente superiores e inferiores a las calculadas para el asteroide. La Figuras 3.22, 3.25 y 3.28 identifican las estrellas de control seleccionadas del catalogo APASS para cada caso. Por otra parte las Figuras 3.23 y 3.24 representan el asteroide el 10 de marzo, las Figuras 3.26 y 3.27 representan el asteroide para el 12 de marzo y las Figuras 3.29 y 3.30 representa el asteroide para el 13 marzo. Para cada imagen se representa el asteroide, las estrellas de control, tanto para HJD y la fase, respectivamente.

Al analizar las Figuras 3.26, 3.27, 3.29 y 3.30 tienen un espacio en blanco, corresponde a las imágenes no tuvieron una buena calidad, por eso se eliminaron esos datos.

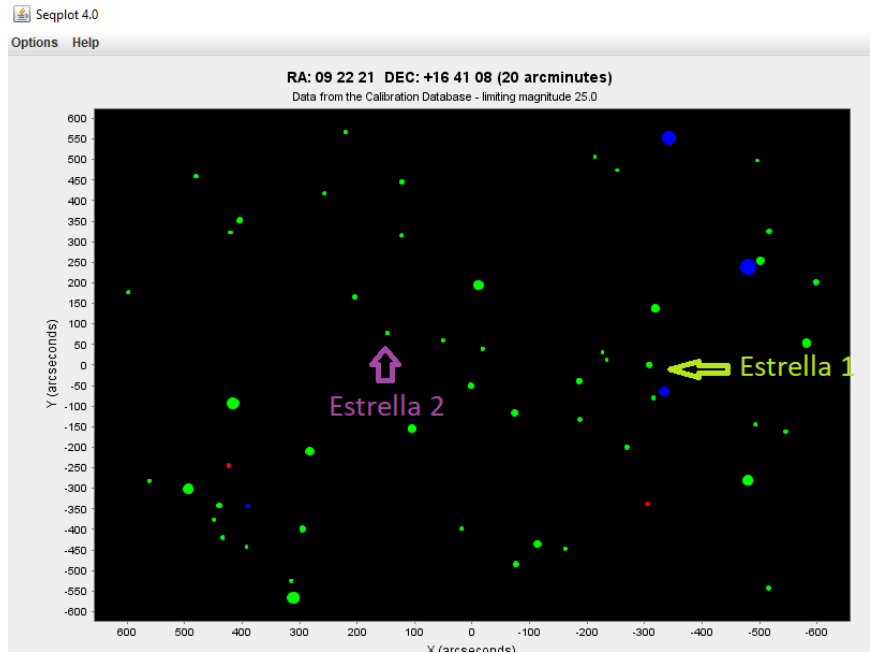


Figura 3.22: Estrellas de control seleccionadas del catalogo APASS para Norma, el día 10-03-18.

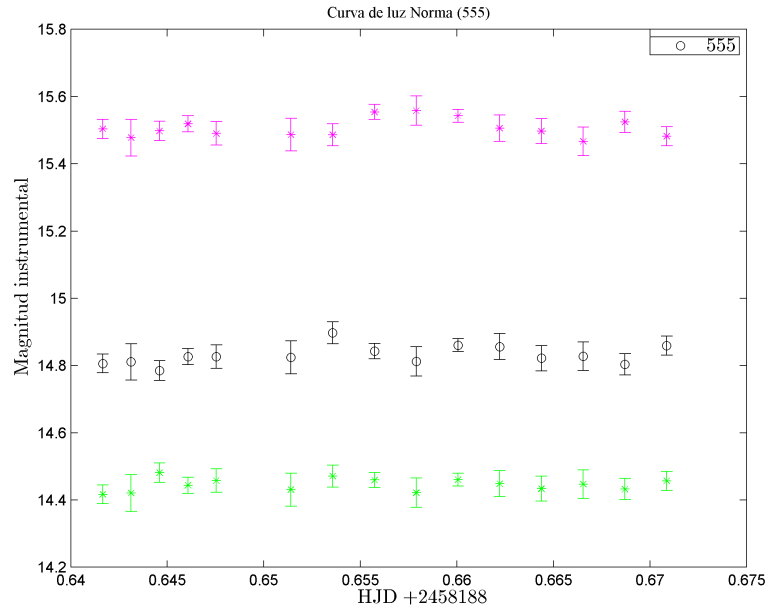


Figura 3.23: Curva de luz obtenida para Norma, el día 10-03-18.

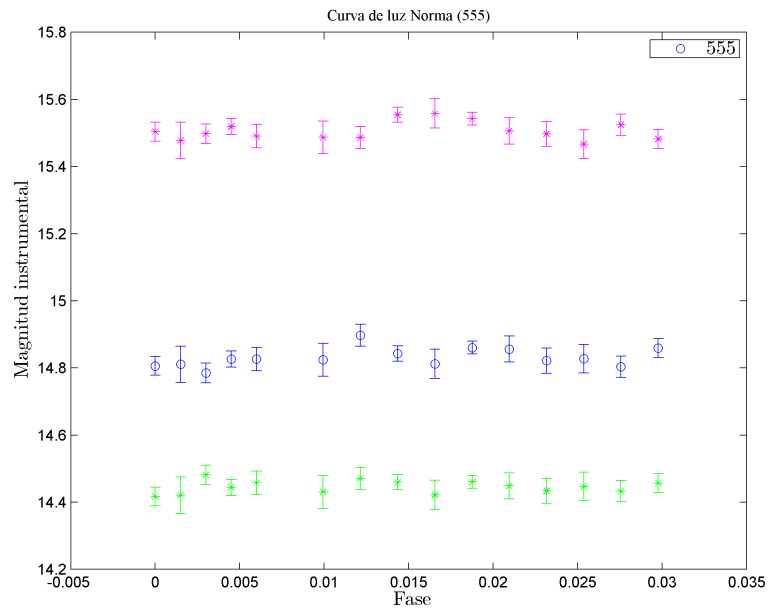


Figura 3.24: Curva de luz en función de la fase obtenida para Norma, el día 10-03-18.

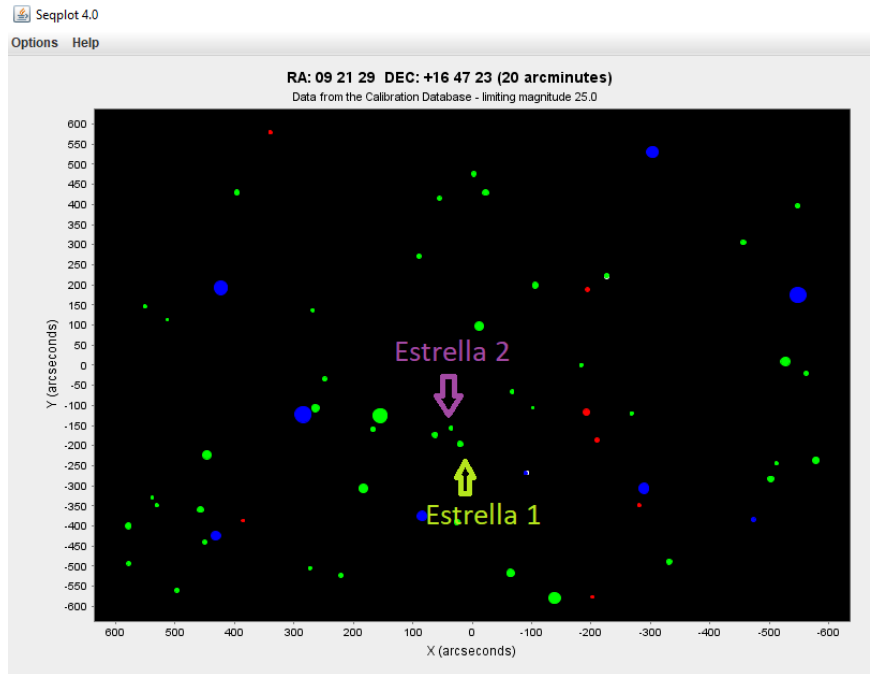


Figura 3.25: Estrellas de control seleccionadas del catalogo APASS para Norma, el día 12-03-18.

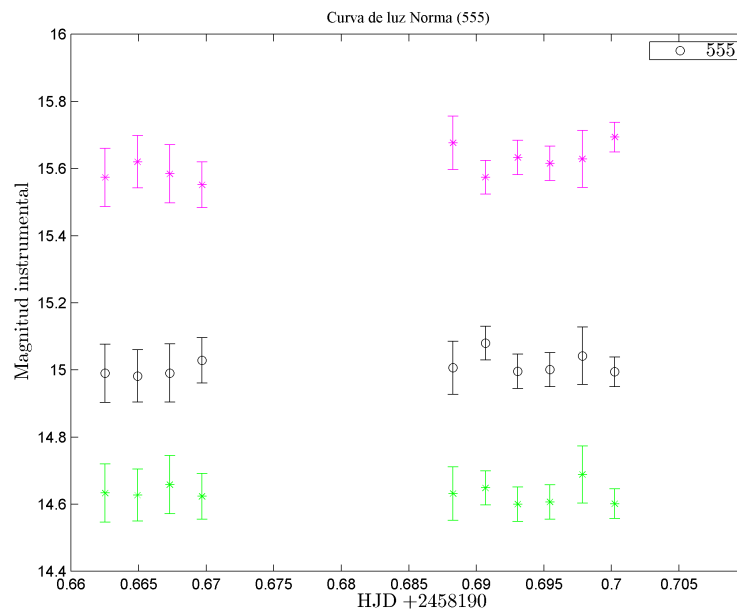


Figura 3.26: Curva de luz obtenida para Norma, el día 12-03-18.

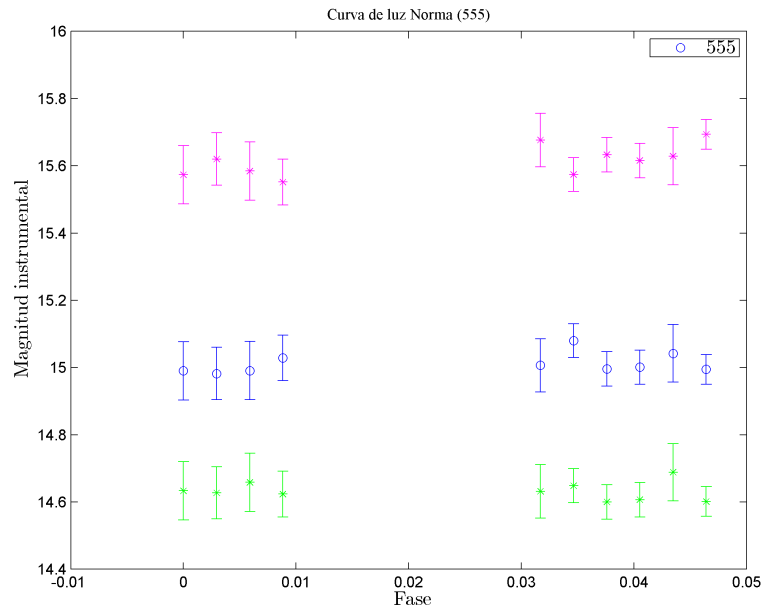


Figura 3.27: Curva de luz en función de la fase obtenida para Norma, el día 12-03-18.

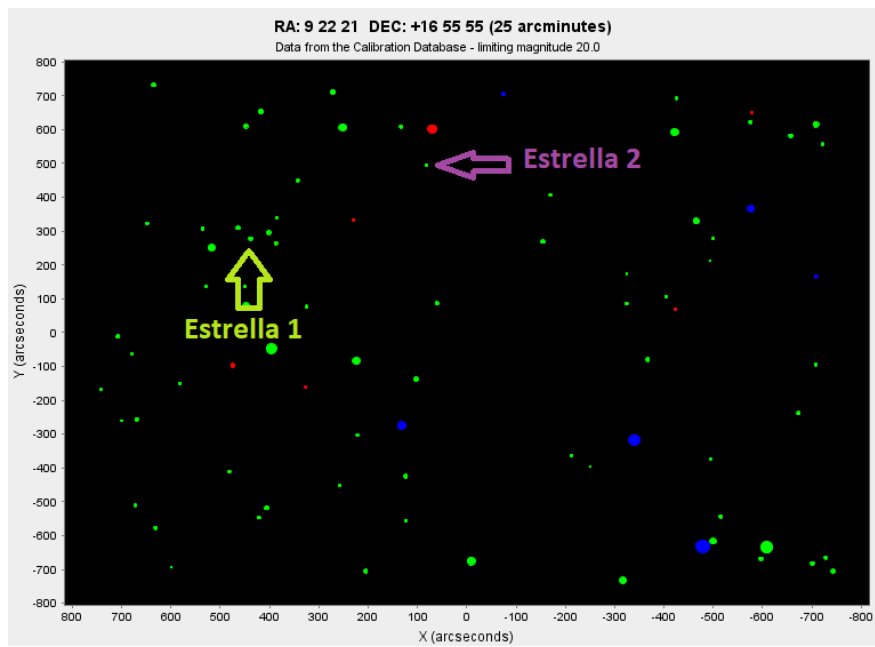


Figura 3.28: Estrellas de control seleccionadas del catalogo APASS para Norma, el día 16-04-18.

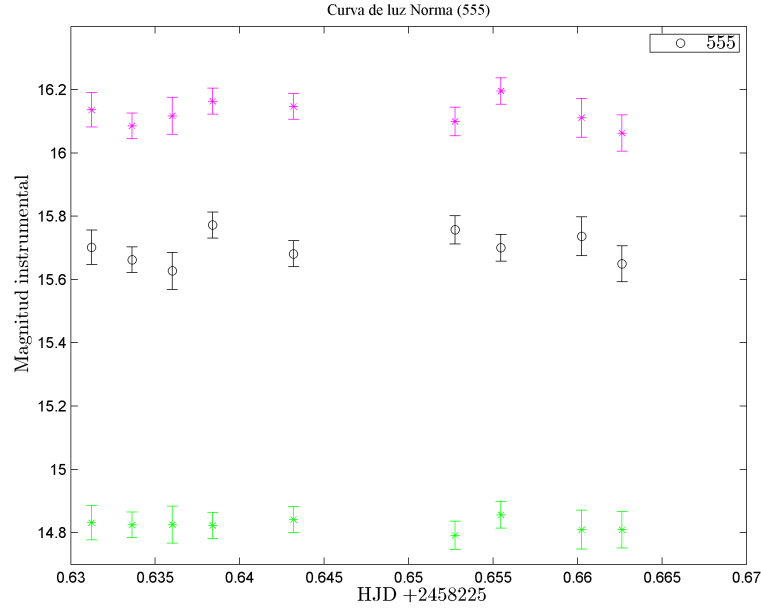


Figura 3.29: Curva de luz obtenida para Norma, el día 16-04-18.

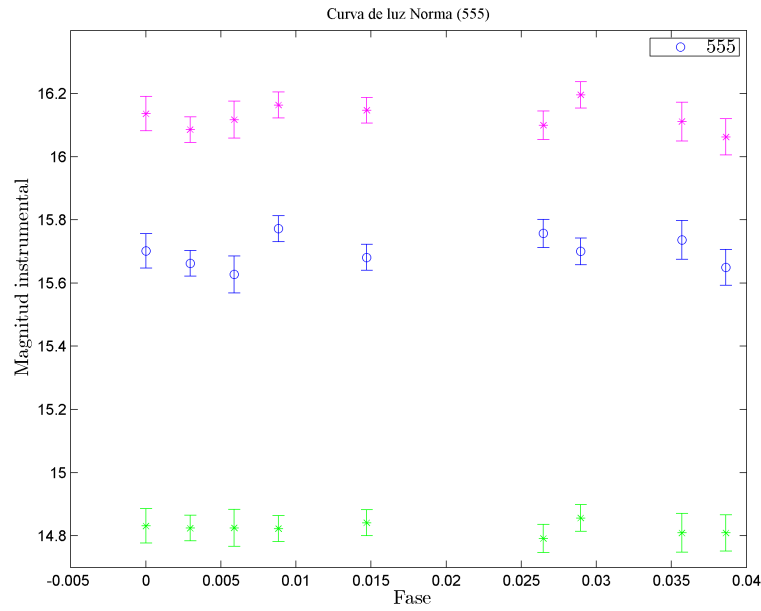


Figura 3.30: Curva de luz en función de la fase obtenida para Norma, el día 16-04-18.

3.6 Reporte ALCDEF

Adicional a las curvas de luz construidas para cada asteroide, los datos registrados se enviaron a la base datos ALCDEF. Para poder enviar los datos, se debe tener la magnitud, el error del objeto y su JD. En la Figura 3.31 se muestra un ejemplo de la información como se debe cargar.

```
STARTBLOCK
EXPOSURE=120
STARTDATA
2458190.66251,14.990,0.023
2458190.66491,14.982,0.022
2458190.66730,14.991,0.024
2458190.66969,15.029,0.030
2458190.68827,15.007,0.024
2458190.69067,15.080,0.032
2458190.69307,14.996,0.026
2458190.69545,15.001,0.024
2458190.69785,15.042,0.024
2458190.70024,14.994,0.041
2458190.70264,15.047,0.037
ENDDATA
ENDBLOCK
```

Figura 3.31: Ejemplo de los datos que se deben subir en formato archivo de texto a la base de datos ALCDEF.

Una vez los datos sean aceptados quedarán disponibles en la página para que cualquier persona pueda acceder a la información, para verificar que los datos han sido cargados correctamente, buscamos el asteroide y debe aparecer el reporte que se envió, a continuación se muestran los ejemplos de los reportes enviados:

ALCDEF Lightcurves for (2717) Tellervo

[Download](#)

Click on a numbered button to display the associated lightcurve

☒ Check/uncheck all Save boxes

Plot	Save	Mid-Date	Filter	Band	Phase	PABL	PABB	Contact
24937	<input checked="" type="checkbox"/>	2018-03-13 05:22:01	V	V	+5.93	+184.8	+1.3	E. A. Quintero Salazar
24938	<input checked="" type="checkbox"/>	2018-03-14 05:38:26	V	V	+5.47	+184.8	+1.3	E. A. Quintero Salazar

Figura 3.32: Reporte de la bases de datos ALCDEF para Tellervo(2717).

ALCDEF Lightcurves for (1738) Oosterhoff

Download

Click on a numbered button to display the associated lightcurve

☒ Check/uncheck all Save boxes

Plot	Save	Mid-Date	Filter	Band	Phase	PABL	PABB	Contact
14593	<input checked="" type="checkbox"/>	2011-12-21 02:11:59	R	R	+12.94	+65.3	+3.1	A. Waszczak
14594	<input checked="" type="checkbox"/>	2011-12-23 07:00:26	R	R	+13.91	+65.5	+3.1	A. Waszczak
14595	<input checked="" type="checkbox"/>	2011-12-27 02:43:50	R	R	+15.50	+65.8	+3.2	A. Waszczak
14596	<input checked="" type="checkbox"/>	2011-12-28 02:13:22	R	R	+15.88	+65.9	+3.2	A. Waszczak
14597	<input checked="" type="checkbox"/>	2011-12-30 02:15:29	R	R	+16.64	+66.1	+3.2	A. Waszczak
14598	<input checked="" type="checkbox"/>	2011-12-31 02:16:00	R	R	+17.00	+66.2	+3.3	A. Waszczak
14599	<input checked="" type="checkbox"/>	2012-01-02 02:20:10	R	R	+17.70	+66.4	+3.3	A. Waszczak
14600	<input checked="" type="checkbox"/>	2012-01-10 05:53:30	R	R	+20.18	+67.5	+3.4	A. Waszczak
14601	<input checked="" type="checkbox"/>	2012-01-11 05:42:26	R	R	+20.44	+67.6	+3.4	A. Waszczak
14602	<input checked="" type="checkbox"/>	2012-01-13 05:54:55	R	R	+20.95	+68.0	+3.4	A. Waszczak
14603	<input checked="" type="checkbox"/>	2012-01-14 05:21:58	R	R	+21.18	+68.1	+3.5	A. Waszczak
14604	<input checked="" type="checkbox"/>	2012-01-15 06:08:34	R	R	+21.42	+68.3	+3.5	A. Waszczak
14605	<input checked="" type="checkbox"/>	2012-01-20 02:38:23	R	R	+22.42	+69.1	+3.5	A. Waszczak
14606	<input checked="" type="checkbox"/>	2012-01-23 04:36:40	R	R	+22.96	+69.7	+3.5	A. Waszczak
14607	<input checked="" type="checkbox"/>	2012-01-26 04:49:52	R	R	+23.42	+70.3	+3.6	A. Waszczak
14608	<input checked="" type="checkbox"/>	2012-01-27 04:11:09	R	R	+23.55	+70.5	+3.6	A. Waszczak
14609	<input checked="" type="checkbox"/>	2012-01-28 05:31:47	R	R	+23.69	+70.7	+3.6	A. Waszczak
14610	<input checked="" type="checkbox"/>	2012-02-05 05:39:30	R	R	+24.50	+72.5	+3.7	A. Waszczak
14611	<input checked="" type="checkbox"/>	2012-02-06 02:55:54	R	R	+24.56	+72.7	+3.7	A. Waszczak
14612	<input checked="" type="checkbox"/>	2012-03-05 04:21:29	R	R	+24.63	+80.0	+3.8	A. Waszczak
14613	<input checked="" type="checkbox"/>	2017-08-23 03:34:14	V	V	+16.89	+309.7	-7.9	E. A. Quintero Salazar
14614	<input checked="" type="checkbox"/>	2017-09-27 03:18:17	V	V	+29.89	+319.2	-6.5	E. A. Quintero Salazar

Figura 3.33: Reporte de la bases de datos ALCDEF para Oosterhoff(1738).

ALCDEF Lightcurves for (4690) Strasbourg

[Download](#)

Click on a numbered button to display the associated lightcurve

☒ Check/uncheck all Save boxes

Plot	Save	Mid-Date	Filter	Band	Phase	PABL	PABB	Contact
34586	<input checked="" type="checkbox"/>	2006-09-27 06:00:00	C	R	+25.31	+28.8	+25.8	B. D. Warner
34587	<input checked="" type="checkbox"/>	2006-09-30 06:00:00	C	R	+24.58	+29.4	+26.0	B. D. Warner
34588	<input checked="" type="checkbox"/>	2006-10-01 06:00:00	C	R	+24.34	+29.6	+26.1	B. D. Warner
34589	<input checked="" type="checkbox"/>	2006-10-03 06:00:00	C	R	+23.87	+29.9	+26.3	B. D. Warner
34590	<input checked="" type="checkbox"/>	2006-10-17 06:00:00	C	R	+21.11	+32.0	+27.0	B. D. Warner
34591	<input checked="" type="checkbox"/>	2006-10-19 06:00:00	C	R	+20.85	+32.3	+27.0	B. D. Warner
34592	<input checked="" type="checkbox"/>	2006-10-20 06:00:00	C	R	+20.73	+32.4	+27.0	B. D. Warner
34593	<input checked="" type="checkbox"/>	2006-10-23 06:00:00	C	R	+20.46	+32.8	+27.0	B. D. Warner
34594	<input checked="" type="checkbox"/>	2006-10-24 06:00:00	C	R	+20.39	+32.9	+27.0	B. D. Warner
34595	<input checked="" type="checkbox"/>	2006-10-27 06:00:00	C	R	+20.28	+33.3	+26.9	B. D. Warner
34596	<input checked="" type="checkbox"/>	2006-10-28 06:00:00	C	R	+20.26	+33.4	+26.9	B. D. Warner
34597	<input checked="" type="checkbox"/>	2006-11-13 07:00:00	C	R	+21.86	+35.5	+25.7	B. D. Warner
34598	<input checked="" type="checkbox"/>	2006-11-16 07:00:00	C	R	+22.45	+36.0	+25.4	B. D. Warner
34599	<input checked="" type="checkbox"/>	2017-12-14 04:31:16	V	V	+13.07	+95.5	+11.7	E. A. Quintero Salazar
34600	<input checked="" type="checkbox"/>	2017-12-14 06:08:34	V	V	+13.04	+95.5	+11.7	E. A. Quintero Salazar
34601	<input checked="" type="checkbox"/>	2018-03-11 02:29:04	V	V	+30.75	+108.9	-3.1	E. A. Quintero Salazar

Figura 3.34: Reporte de la bases de datos ALCDEF para Strabourg(4690).

ALCDEF Lightcurves for (3200) Phaethon

Click on a numbered button to display the associated lightcurve

☒ Check/uncheck all Save boxes

Plot	Save	Mid-Date	Filter	Band	Phase	PABL	PABB	Contact
<input type="button" value="27506"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2004-11-13 08:17:00	R	V	+17.16	+72.5	+12.4	V. Reddy
<input type="button" value="27507"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2004-12-05 03:59:00	R	V	+12.37	+64.7	+11.8	V. Reddy
<input type="button" value="27508"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2014-11-27 07:12:00	C	V	+9.31	+65.3	+12.7	B. D. Warner
<input type="button" value="27509"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2014-11-28 05:24:00	C	V	+9.34	+65.0	+12.6	B. D. Warner
<input type="button" value="27510"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2014-11-28 10:27:00	C	V	+9.36	+64.9	+12.6	B. D. Warner
<input type="button" value="27511"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2014-11-29 05:55:00	C	V	+9.48	+64.6	+12.6	B. D. Warner
<input type="button" value="27512"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2014-11-29 10:52:00	C	V	+9.52	+64.5	+12.6	B. D. Warner
<input type="button" value="27513"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2014-12-08 02:46:00	C	V	+14.64	+61.0	+12.0	B. D. Warner
<input type="button" value="27514"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2014-12-14 04:49:00	C	V	+20.39	+58.4	+11.4	B. D. Warner
<input type="button" value="27515"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2014-12-15 06:33:00	C	V	+21.47	+58.0	+11.2	B. D. Warner
<input type="button" value="27516"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2016-11-02 05:21:00	C	V	+33.95	+15.4	+32.7	B. D. Warner
<input type="button" value="27517"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2016-11-03 05:17:00	C	V	+33.72	+15.3	+32.2	B. D. Warner
<input type="button" value="27518"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2016-11-04 05:13:00	C	V	+33.51	+15.2	+31.8	B. D. Warner
<input type="button" value="27519"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2016-11-05 05:12:00	C	V	+33.33	+15.1	+31.3	B. D. Warner
<input type="button" value="27520"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2017-11-26 08:01:00	C	V	+29.05	+88.0	+9.8	B. D. Warner
<input type="button" value="27521"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2017-12-01 07:55:00	C	V	+26.19	+87.4	+10.1	B. D. Warner
<input type="button" value="27522"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2017-12-01 11:44:00	C	V	+26.08	+87.4	+10.1	B. D. Warner
<input type="button" value="27523"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2017-12-02 07:20:00	C	V	+25.48	+87.2	+10.2	B. D. Warner
<input type="button" value="27524"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2017-12-02 09:20:00	C	V	+25.42	+87.1	+10.2	B. D. Warner
<input type="button" value="27525"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2017-12-02 11:43:00	C	V	+25.35	+87.1	+10.2	B. D. Warner
<input type="button" value="27526"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2017-12-14 03:32:45	V	V	+31.38	+69.9	+13.8	E. A. Quintero Salazar

Figura 3.35: Reporte de la bases de datos ALCDEF para Phaethon(3200).

5403	✓	2011-12-25 08:51:00	C	R	+6.53	+108.1	-1.4	R. D. Stephens
5404	✓	2011-12-26 08:27:00	C	R	+6.12	+108.1	-1.4	R. D. Stephens
5405	✓	2011-12-26 08:41:00	C	R	+6.12	+108.1	-1.4	R. D. Stephens
5406	✓	2011-12-27 08:26:00	C	R	+5.71	+108.2	-1.4	R. D. Stephens
5407	✓	2011-12-27 08:40:00	C	R	+5.71	+108.2	-1.4	R. D. Stephens
5408	✓	2012-01-02 07:55:00	C	R	+3.18	+108.3	-1.4	R. D. Stephens
5409	✓	2012-01-02 08:10:00	C	R	+3.18	+108.3	-1.4	R. D. Stephens
5410	✓	2012-01-03 08:07:00	C	R	+2.75	+108.3	-1.3	R. D. Stephens
5411	✓	2012-01-03 08:21:00	C	R	+2.74	+108.3	-1.3	R. D. Stephens
5412	✓	2012-01-04 07:44:00	C	R	+2.33	+108.3	-1.3	R. D. Stephens
5413	✓	2012-01-04 07:59:00	C	R	+2.32	+108.3	-1.3	R. D. Stephens
5414	✓	2012-01-05 08:00:00	C	R	+1.90	+108.3	-1.3	R. D. Stephens
5415	✓	2012-01-05 08:15:00	C	R	+1.90	+108.3	-1.3	R. D. Stephens
5416	✓	2016-10-06 11:00:00	C	R	+9.91	+40.8	-3.2	F. Pilcher
5417	✓	2016-10-26 07:30:00	C	R	+3.24	+41.0	-3.3	F. Pilcher
5418	✓	2016-10-31 07:00:00	C	R	+1.66	+40.9	-3.3	F. Pilcher
5419	✓	2016-11-06 07:15:00	C	R	+1.76	+40.8	-3.3	F. Pilcher
5420	✓	2016-11-07 06:40:00	C	R	+2.04	+40.8	-3.3	F. Pilcher
5421	✓	2016-11-19 06:00:00	C	R	+6.27	+40.8	-3.2	F. Pilcher
5422	✓	2016-11-21 04:40:00	C	R	+6.96	+40.8	-3.2	F. Pilcher
5423	✓	2016-11-23 06:00:00	C	R	+7.68	+40.8	-3.2	F. Pilcher
5424	✓	2018-03-11 03:28:13	V	V	+11.26	+143.4	+1.1	E. A. Quintero Salazar
5425	✓	2018-03-11 03:52:01	V	V	+11.26	+143.4	+1.1	E. A. Quintero Salazar
5426	✓	2018-03-13 04:26:05	V	V	+11.96	+143.5	+1.1	E. A. Quintero Salazar
5427	✓	2018-04-17 03:30:09	V	V	+19.87	+147.6	+1.4	E. A. Quintero Salazar

Figura 3.36: Reporte de la bases de datos ALCDEF para Norma(555).

Capítulo 4

Conclusiones

Se logró el desarrollo de una metodología que permite la observación fotométrica de cuerpos menores del Sistema Solar desde el OAUTP, aportando al Know How del grupo de investigación con la captura de imágenes astronómicas de calidad para extracción de parámetros físicos.

Se involucraron herramientas de uso actual en la astronomía como lo es la plataforma IRAF donde se estandarizaron procesos para el análisis fotométrico de imágenes astronómicas que pueden ser utilizados tanto al interior del grupo de investigación como por otros centros de investigación.

Los resultados obtenidos fueron reportados al proyecto Asteroid Belt Comet liderado por el profesor Ignacio Ferrín de la Universidad de Antioquia. Este proyecto de colaboración latinoamericana busca encontrar asteroides activos en el cinturón principal de asteroides, los cuales pueden cambiar la visión que se tiene acerca de los asteroides. Adicionalmente, desde la coordinación del proyecto ABC se está preparando un artículo científico internacional que incluirá los resultados arrojados por esta tesis de grado.

Se construyeron las curvas de luz para cada uno de los asteroides y se enviaron a la base de datos ALCDEF, estos datos permitirán ampliar la información con la cuenta los científicos a nivel mundial en el estudio de los asteroides. Además, la base de datos permitirá generar nuevos proyectos de colaboración internacional.

Capítulo 5

Anexos

En este capítulo se presenta las tablas que se desarrollaron para cada uno de los asteroides que se estudiaron.

Nombre de la imagen	HJD- middle 2457988	Fase	Magnitud Oosterhoff	Error	Estrella de referencia 1	Estrella de referencia 2
1738-0001V_480.f	0.622812500	0	13.9788354	0.072325327	14.6017341	13.5213168
1738-0002V_480.f	0.628460648	0.030484	14.0199387	0.044284166	14.6372748	13.5318356
1738-0003V_480.f	0.634097222	0.060905	14.111067	0.092395494	14.658598	13.542893
1738-0004V_480.f	0.639745371	0.091389	14.2091569	0.082141784	14.6288638	13.5529408
1738-0005V_480.f	0.645381944	0.12181	14.3455408	0.069681259	14.6425676	13.5393252
1738-0006V_480.f	0.652175926	0.158479	14.46249	0.090665244	14.626	13.55038
1738-0007V_480.f	0.657812500	0.1889	14.39927	0.098163731	14.598575	13.55561
1738-0008V_480.f	0.663460648	0.219384	14.3060594	0.07485265	14.6364827	13.5379958
1738-0009V_480.f	0.669097222	0.249805	14.232328	0.086837935	14.645818	13.543178
1738-00010V_480.f	0.674745370	0.280288947	14.1541404	0.043631878	14.6712955	13.5179496

Tabla 5.1: Datos obtenidos a partir del procesamiento de 10 imágenes del campo del asteroide Oosterhoff, el día 22-09-17.

Nombre de la imagen	HJD- middle 2458023	Fase	Magnitud Oosterhoff	Error	Estrella de referencia 1	Estrella de referencia 2
1738-0005_480sf_cr	0.1059375	0	15.2115084	0.041792686	15.4470248	14.5069808
1738-0006_480sf_cr	0.111574074	0.030421	15.13404	0.042159054	15.42845	14.479352
1738-0007_480sf_cr	0.117222222	0.060905	15.0843512	0.041626282	15.4451369	14.4462674
1738-0011_480sf_cr	0.142083333	0.195084	14.824764	0.03799373	15.3696952	14.4647912
1738-0012_480sf_cr	0.147719907	0.225505	14.812454	0.040879408	15.430688	14.488808
1738-0013_480sf_cr	0.153368056	0.255989	14.855394	0.039702786	15.4294774	14.4894284
1738-0014_480sf_cr	0.159016204	0.286473	14.875948	0.038558184	15.3970042	14.4906883
1738-0015_480sf_cr	0.164664352	0.316957013	15.0049454	0.040029083	15.444446	14.4737576

Tabla 5.2: Datos obtenidos a partir del procesamiento de 8 imágenes del campo del asteroide Oosterhoff, el día 26-10-17.

Nombre de la imagen	Fase	HJD- middle +2458101	Magnitud Strabourg	Error	Estrella de referencia 1	Estrella de referencia 2
4690-0002_180s_f_cr	0	0.677581018	15.5131673	0.076508383	14.9085906	16.0636453
4690-0003_180s_f_cr	0.000750642	0.679745371	15.5396156	0.073030263	14.9015381	15.9772895
4690-0004_180s_f_cr	0.001501285	0.681909722	15.6096831	0.069345232	14.9087126	15.9154756
4690-0005_180s_f_cr	0.002247913	0.6840625	15.535134	0.083701852	14.8305888	16.0150014
4690-0006_180s_f_cr	0.002998555	0.686226852	15.395083	0.077279558	14.9120347	15.9490288
4690-0007_180s_f_cr	0.003749197	0.688391204	15.412724	0.075235435	14.89274	15.948722
4690-0008_180s_f_cr	0.004499839	0.690555556	15.305461	0.100419691	14.8801641	15.9074337
4690-0009_180s_f_cr	0.005246468	0.692708334	15.2005728	0.135705801	14.8705952	16.0764176
4690-0010_180s_f_cr	0.00599711	0.694872685	15.144308	0.145436553	14.752994	15.992155
4690-0011_180s_f_cr	0.006747752	0.697037037	15.23126	0.070670597	14.93422	15.8385
4690-0012_180s_f_cr	0.00749438	0.699189815	15.204081	0.075827002	14.8833192	15.752877
4690-0001_240s_f_cr	0.010151734	0.706851852	15.3788126	0.039700573	14.9061566	15.9489539
4690-0002_240s_f_cr	0.011143224	0.709710648	15.458362	0.047242969	14.8669666	15.9258181
4690-0004_240s_f_cr	0.024771195	0.749004629	15.5473164	0.048103068	14.9723532	15.904672
4690-0005_240s_f_cr	0.025758671	0.751851852	15.4511104	0.068443338	14.9718708	15.9437956
4690-0007_240s_f_cr	0.034922929	0.778275463	15.5576952	0.05608159	14.9772984	15.9126
4690-0008_240s_f_cr	0.035910405	0.781122685	15.596945	0.051837296	14.95976	15.90462
4690-0009_240s_f_cr	0.036901895	0.783981482	15.4917339	0.062294921	14.9839152	15.9732357
4690-0010_240s_f_cr	0.037889371	0.786828704	15.5446598	0.039078269	14.974535	15.9168246

Tabla 5.3: Datos obtenidos a partir del procesamiento de 19 imágenes del campo del asteroide Strabourg, el día 13-12-17.

Nombre de la imagen	Fase	HJD- middle +2458188	Magnitud Strabourg	Error	Estrella de referencia 1	Estrella de referencia 2
4690_480s-0001_480s_f_cr	0	0.58099537	16.625594	0.07	16.016232	16.419756
4690_480s-0002_480s_f_cr	0.001954881	0.586631944	17.2378724	0.136	16.0083285	16.4270323
4690_480s-0003_480s_f_cr	0.003905748	0.592256945	17.805703	0.222	15.9294145	16.3987595
4690_480s-0004_480s_f_cr	0.005860629	0.597893518	18.074535	0.387	16.169775	16.4434825
4690_480s-0005_480s_f_cr	0.007815511	0.603530093	17.790276	0.25	15.9450696	16.4032116
4690_480s-0006_480s_f_cr	0.009766378	0.609155092	18.0389646	0.356	16.0718074	16.5019947
4690_480s-0007_480s_f_cr	0.011721259	0.614791667	17.579064	0.226	16.0520385	16.2724125
4690_480s-0008_480s_f_cr	0.01367614	0.620428241	16.803106	0.137	15.9806986	16.5891223
4690_480s-0009_480s_f_cr	0.015627007	0.626053241	16.709249	0.127	15.905446	16.627167

Tabla 5.4: Datos obtenidos a partir del procesamiento de 9 imágenes del campo del asteroide Strabourg, el día 13-03-18.

Nombre de la imagen	HJD- middle +2458101	Fase	Magnitud Phaethon	Error	Estrella de referencia
3200-0015_5s_f_cr	0.635625	0	10.4916276	0.057170081	10.2741684

Continúa en la siguiente página

Nombre de la imagen	HJD- middle +2458101	Fase	Magnitud Phaethon	Error	Estrella de referencia
3200-0016_5s_f.cr	0.635706019	0.000539524	10.5538496	0.111518925	10.3342504
3200-0017_5s_f.cr	0.635787037	0.001079048	10.5232	0.085411304	10.31546
3200-0018_5s_f.cr	0.635856481	0.001541497	10.5102972	0.061021171	10.3075404
3200-0019_5s_f.cr	0.6359375	0.002081021	10.5271226	0.080523289	10.3044836
3200-0020_5s_f.cr	0.636006944	0.00254347	10.5142431	0.081399523	10.3119926
3200-0021_5s_f.cr	0.636087963	0.003082994	10.558195	0.099579031	10.344318
3200-0022_5s_f.cr	0.636157407	0.003545443	10.4911211	0.088062316	10.3030454
3200-0023_5s_f.cr	0.636238426	0.004084967	10.5303479	0.073176954	10.3214366
3200-0024_5s_f.cr	0.636319445	0.004624491	10.5314524	0.103394508	10.3334589
3200-0025_5s_f.cr	0.636446759	0.005472315	10.5560466	0.087557886	10.3337643
3200-0026_5s_f.cr	0.636527778	0.006011839	10.5616456	0.077256283	10.332692
3200-0027_5s_f.cr	0.636597222	0.006474288	10.5256203	0.062869421	10.3039907
3200-0028_5s_f.cr	0.636678241	0.007013812	10.4940216	0.069090733	10.2711105
3200-0029_5s_f.cr	0.636805556	0.007861635	10.5573344	0.081719788	10.344136
3200-0030_5s_f.cr	0.636886574	0.008401159	10.549037	0.090210033	10.3110082
3200-0031_5s_f.cr	0.637025463	0.009326057	10.5218821	0.07374322	10.2959554
3200-0032_5s_f.cr	0.637152778	0.010173881	10.534452	0.080298753	10.299516
3200-0033_5s_f.cr	0.637291667	0.011098779	10.5204712	0.073669597	10.2957844
3200-0034_5s_f.cr	0.637430556	0.012023677	10.5620616	0.095461264	10.3567576
3200-0035_5s_f.cr	0.637569444	0.012948576	10.568304	0.112558423	10.344717
3200-0036_5s_f.cr	0.637696759	0.013796399	10.5565264	0.081582595	10.3264297
3200-0037_5s_f.cr	0.637835648	0.014721297	10.5362613	0.08541081	10.3160996
3200-0038_5s_f.cr	0.637974537	0.015646196	10.5539306	0.09954616	10.3552958
3200-0039_5s_f.cr	0.638113426	0.016571094	10.5648043	0.09475643	10.3369788
3200-0040_5s_f.cr	0.638240741	0.017418917	10.5512136	0.087508487	10.3370528
3200-0041_5s_f.cr	0.63837963	0.018343816	10.5321786	0.076987178	10.3166274
3200-0042_5s_f.cr	0.638518518	0.019268714	10.592256	0.104812193	10.3408776
3200-0043_5s_f.cr	0.638657407	0.020193612	10.5318944	0.082621162	10.3330874
3200-0044_5s_f.cr	0.638784722	0.021041435	10.54634	0.085720102	10.3386
3200-0045_5s_f.cr	0.638923611	0.021966334	10.5554226	0.093040288	10.3209928
3200-0046_5s_f.cr	0.6390625	0.022891232	10.5550198	0.09687636	10.3282765
3200-0047_5s_f.cr	0.639189815	0.023739055	10.529977	0.077062637	10.3049824
3200-0048_5s_f.cr	0.639328704	0.024663954	10.534583	0.075017776	10.3077977
3200-0049_5s_f.cr	0.639467593	0.025588852	10.536049	0.075522824	10.319044
3200-0050_5s_f.cr	0.639606481	0.02651375	10.5691666	0.081411184	10.3238788
3200-0051_5s_f.cr	0.639745371	0.027438648	10.5510404	0.045140829	10.2961406
3200-0052_5s_f.cr	0.639872685	0.028286472	10.5388099	0.05632457	10.3112105
3200-0053_5s_f.cr	0.640011574	0.02921137	10.5208204	0.079727452	10.2813448
3200-0054_5s_f.cr	0.640150463	0.030136268	10.5468186	0.081187549	10.3181337

Continúa en la siguiente página

Nombre de la imagen	HJD- middle +2458101	Fase	Magnitud Phaethon	Error	Estrella de referencia
3200-0055_5s_f.cr	0.640289352	0.031061167	10.6080286	0.124368002	10.344634
3200-0056_5s_f.cr	0.640416667	0.03190899	10.5702324	0.076539302	10.318634
3200-0057_5s_f.cr	0.640555556	0.032833888	10.5440538	0.065995837	10.2865939
3200-0058_5s_f.cr	0.640694445	0.033758787	10.5661576	0.089778757	10.3309912
3200-0059_5s_f.cr	0.640833333	0.034683685	10.5452979	0.056448021	10.3021229
3200-0060_5s_f.cr	0.640960648	0.035531508	10.5699209	0.099252166	10.3336948
3200-0061_5s_f.cr	0.641099537	0.036456406	10.5334696	0.060437532	10.2907472
3200-0062_5s_f.cr	0.641238426	0.037381305	10.5279096	0.065256103	10.3283466
3200-0063_5s_f.cr	0.641377315	0.038306203	10.5264628	0.065441959	10.3126281
3200-0064_5s_f.cr	0.64150463	0.039154026	10.583785	0.087323427	10.3304
3200-0065_5s_f.cr	0.641793982	0.041080898	10.545214	0.064444371	10.2898008
3200-0066_5s_f.cr	0.64193287	0.042005796	10.547568	0.070794269	10.2969816
3200-0067_5s_f.cr	0.642071759	0.042930694	10.5520142	0.072067301	10.2920156
3200-0068_5s_f.cr	0.642210648	0.043855593	10.5609182	0.074680937	10.329137
3200-0069_5s_f.cr	0.642337963	0.044703416	10.581234	0.079919774	10.3024995
3200-0070_5s_f.cr	0.642476852	0.045628314	10.5827102	0.066538782	10.3085918
3200-0071_5s_f.cr	0.642615741	0.046553212	10.5464625	0.087303093	10.3008375
3200-0072_5s_f.cr	0.64275463	0.047478111	10.5538352	0.072790609	10.3089932
3200-0073_5s_f.cr	0.642881944	0.048325934	10.5406088	0.090950536	10.3169256
3200-0074_5s_f.cr	0.643020833	0.049250832	10.5653039	0.073928686	10.3076642
3200-0075_5s_f.cr	0.643159722	0.050175731	10.5607778	0.057672706	10.2770384
3200-0076_5s_f.cr	0.643298611	0.051100629	10.572224	0.063130425	10.309871
3200-0077_5s_f.cr	0.643425926	0.051948452	10.578464	0.050209742	10.3030976
3200-0078_5s_f.cr	0.643564815	0.052873351	10.538886	0.056602316	10.29159
3200-0079_5s_f.cr	0.643703704	0.053798249	10.5443361	0.080787788	10.3107482
3200-0080_5s_f.cr	0.643842592	0.054723147	10.5567952	0.095640298	10.3234952
3200-0081_5s_f.cr	0.643981481	0.055648045	10.533967	0.059599357	10.295515
3200-0082_5s_f.cr	0.644108797	0.056495869	10.540686	0.066141059	10.2848733
3200-0083_5s_f.cr	0.644247685	0.057420767	10.5526463	0.044617199	10.3224755
3200-0084_5s_f.cr	0.644386574	0.058345665	10.5828864	0.070014284	10.3015736
3200-0085_5s_f.cr	0.644525463	0.059270564	10.5591981	0.066775991	10.2837837
3200-0086_5s_f.cr	0.644652778	0.060118387	10.5479912	0.065852625	10.307684
3200-0087_5s_f.cr	0.644791667	0.061043285	10.5207208	0.072866675	10.2971816
3200-0088_5s_f.cr	0.644930556	0.061968183	10.5917404	0.080309015	10.3109548
3200-0089_5s_f.cr	0.645057871	0.062816007	10.551652	0.07400719	10.3082032
3200-0090_5s_f.cr	0.645196759	0.063740905	10.5707418	0.068335181	10.324842
3200-0091_5s_f.cr	0.645335648	0.064665803	10.5727736	0.07599481	10.2932384
3200-0092_5s_f.cr	0.645474537	0.065590702	10.5925848	0.065366325	10.3045674
3200-0093_5s_f.cr	0.645601852	0.066438525	10.5391496	0.06532854	10.285226

Continúa en la siguiente página

Nombre de la imagen	HJD- middle +2458101	Fase	Magnitud Phaethon	Error	Estrella de referencia
3200-0094_5s_f.cr	0.645740741	0.067363423	10.534736	0.068731041	10.263472
3200-0095_5s_f.cr	0.64587963	0.068288322	10.5534745	0.052579809	10.2807523
3200-0096_5s_f.cr	0.646018519	0.06921322	10.5802158	0.059653701	10.3063546
3200-0097_5s_f.cr	0.646145833	0.070061043	10.5739306	0.05262768	10.3003624
3200-0098_5s_f.cr	0.646284722	0.070985942	10.5802982	0.055494963	10.3214119
3200-0099_5s_f.cr	0.646423611	0.07191084	10.568078	0.065016781	10.30859
3200-0100_5s_f.cr	0.6465625	0.072835738	10.5651955	0.048813223	10.2863927
3200-0101_5s_f.cr	0.646689815	0.073683561	10.5709032	0.060203136	10.3046256
3200-0102_5s_f.cr	0.646828704	0.07460846	10.5742972	0.057800794	10.3165145
3200-0103_5s_f.cr	0.646967593	0.075533358	10.564496	0.067134871	10.3206801
3200-0104_5s_f.cr	0.647106481	0.076458256	10.5607884	0.047279564	10.31197
3200-0105_5s_f.cr	0.647233796	0.07730608	10.5452865	0.07578339	10.3110699
3200-0106_5s_f.cr	0.647372685	0.078230978	10.5553024	0.057204577	10.3138906
3200-0107_5s_f.cr	0.647511574	0.079155876	10.5322665	0.060644614	10.2993945
3200-0108_5s_f.cr	0.647638889	0.0800037	10.5227296	0.054093377	10.2997684
3200-0109_5s_f.cr	0.647777778	0.080928598	10.5480469	0.058168772	10.325229
3200-0110_5s_f.cr	0.647916667	0.081853496	10.5346771	0.066539747	10.3259482
3200-0111_5s_f.cr	0.648055556	0.082778394	10.550502	0.073491249	10.321542
3200-0112_5s_f.cr	0.64818287	0.083626218	10.53766	0.055265046	10.31782
3200-0113_5s_f.cr	0.648321759	0.084551116	10.551102	0.073204943	10.287377
3200-0114_5s_f.cr	0.648460648	0.085476014	10.5440728	0.056878592	10.3075988
3200-0115_5s_f.cr	0.648657408	0.086786287	10.5501346	0.066665379	10.2791578
3200-0116_5s_f.cr	0.648796296	0.087711185	10.593521	0.062544295	10.3189038
3200-0117_5s_f.cr	0.648935185	0.088636083	10.5563	0.055669316	10.28582
3200-0118_5s_f.cr	0.6490625	0.089483907	10.5784316	0.060448325	10.2964777
3200-0119_5s_f.cr	0.649201389	0.090408805	10.5598576	0.065411178	10.2976944
3200-0120_5s_f.cr	0.649340278	0.091333703	10.5507225	0.059305939	10.2968845
3200-0121_5s_f.cr	0.649479167	0.092258602	10.5492613	0.062288219	10.2999478
3200-0122_5s_f.cr	0.649606482	0.093106425	10.5477892	0.065679017	10.3194044
3200-0123_5s_f.cr	0.64974537	0.094031323	10.5313996	0.056439455	10.2894012
3200-0124_5s_f.cr	0.649884259	0.094956221	10.5289654	0.062033817	10.2997627
3200-0125_5s_f.cr	0.650023148	0.09588112	10.56366	0.058354167	10.3037368
3200-0126_5s_f.cr	0.650150463	0.096728943	10.5608324	0.056988978	10.2676724
3200-0127_5s_f.cr	0.650289352	0.097653841	10.5637413	0.061399595	10.3119714
3200-0128_5s_f.cr	0.650428241	0.09857874	10.5706552	0.050636853	10.2878109
3200-0129_5s_f.cr	0.650555556	0.099426563	10.5509269	0.071281572	10.2866244
3200-0130_5s_f.cr	0.650694444	0.100351461	10.5737052	0.063942446	10.307586
3200-0131_5s_f.cr	0.650833333	0.10127636	10.5535687	0.057060981	10.2879616
3200-0132_5s_f.cr	0.650972222	0.102201258	10.5462939	0.062411331	10.3006107

Continúa en la siguiente página

Nombre de la imagen	HJD- middle +2458101	Fase	Magnitud Phaethon	Error	Estrella de referencia
3200-0133_5s_f.cr	0.651099537	0.103049081	10.5704689	0.061452608	10.3127938
3200-0134_5s_f.cr	0.651238426	0.10397398	10.5363824	0.062719563	10.2899504
3200-0135_5s_f.cr	0.651377315	0.104898878	10.5240881	0.056942874	10.3111941
3200-0136_5s_f.cr	0.651516204	0.105823776	10.540422	0.068143698	10.2950898
3200-0137_5s_f.cr	0.651643518	0.106671599	10.5491586	0.075655107	10.3083222
3200-0138_5s_f.cr	0.651782407	0.107596498	10.6058048	0.07038371	10.3711208
3200-0139_5s_f.cr	0.651921297	0.108521396	10.5485443	0.068415826	10.3055548
3200-0140_5s_f.cr	0.652060185	0.109446294	10.5438734	0.064165651	10.3001444
3200-0141_5s_f.cr	0.6521875	0.110294118	10.5541004	0.076368	10.3264518
3200-0142_5s_f.cr	0.652326389	0.111219016	10.5141905	0.065297165	10.285371
3200-0143_5s_f.cr	0.652465278	0.112143914	10.5406088	0.068432087	10.3465634
3200-0144_5s_f.cr	0.652604167	0.113068812	10.5448888	0.071792283	10.30804
3200-0145_5s_f.cr	0.652731482	0.113916636	10.5614529	0.072912821	10.3054861
3200-0146_5s_f.cr	0.652870371	0.114841534	10.5500485	0.079348118	10.318239
3200-0147_5s_f.cr	0.653009259	0.115766432	10.5727457	0.073627876	10.3130954
3200-0148_5s_f.cr	0.653136574	0.116614256	10.5649348	0.07986739	10.325445
3200-0149_5s_f.cr	0.653275463	0.117539154	10.5854984	0.092452895	10.3432304
3200-0150_5s_f.cr	0.653414352	0.118464052	10.5391075	0.050771681	10.2980267
3200-0151_5s_f.cr	0.653553241	0.119388951	10.623669	0.090968359	10.3861753
3200-0152_5s_f.cr	0.653680556	0.120236774	10.5506669	0.08156909	10.2988592
3200-0153_5s_f.cr	0.653819445	0.121161672	10.5807252	0.074635782	10.2971496
3200-0154_5s_f.cr	0.653958333	0.12208657	10.5866992	0.067699007	10.306181
3200-0155_5s_f.cr	0.654097222	0.123011469	10.5330033	0.065165765	10.2806968
3200-0156_5s_f.cr	0.654224537	0.123859292	10.5372779	0.068866463	10.3224395
3200-0157_5s_f.cr	0.654363425	0.12478419	10.5469908	0.076376016	10.3197484
3200-0158_5s_f.cr	0.654502315	0.125709089	10.5612025	0.090870464	10.3153764
3200-0159_5s_f.cr	0.654641204	0.126633987	10.54647	0.060482038	10.3019088
3200-0160_5s_f.cr	0.654768519	0.12748181	10.5425784	0.101207433	10.3404488
3200-0161_5s_f.cr	0.654907407	0.128406709	10.5701451	0.085300852	10.3226979
3200-0162_5s_f.cr	0.655046296	0.129331607	10.559894	0.070549063	10.315568
3200-0163_5s_f.cr	0.655185185	0.130256505	10.5511394	0.071309186	10.3073492
3200-0164_5s_f.cr	0.6553125	0.131104329	10.5377602	0.074658821	10.281579
3200-0165_5s_f.cr	0.655520833	0.132491676	10.521322	0.093759705	10.3029247
3200-0166_5s_f.cr	0.655648148	0.133339499	10.5556774	0.072346808	10.3189033
3200-0167_5s_f.cr	0.655787037	0.134264398	10.5564449	0.101708927	10.3280121
3200-0168_5s_f.cr	0.655925926	0.135189296	10.554152	0.080526541	10.343816
3200-0169_5s_f.cr	0.656064815	0.136114194	10.5396659	0.073458431	10.2969314
3200-0170_5s_f.cr	0.65619213	0.136962018	10.563332	0.081668621	10.30282
3200-0171_5s_f.cr	0.656331019	0.137886916	10.4839256	0.057513989	10.2608504

Continúa en la siguiente página

Nombre de la imagen	HJD- middle +2458101	Fase	Magnitud Phaethon	Error	Estrella de referencia
3200-0172_5s_f.cr	0.656469908	0.138811814	10.5774305	0.071666556	10.3128023
3200-0173_5s_f.cr	0.656608796	0.139736712	10.5208304	0.076305776	10.3145152
3200-0174_5s_f.cr	0.656736111	0.140584536	10.5528882	0.085797839	10.3150429
3200-0175_5s_f.cr	0.656875	0.141509434	10.5459895	0.078803553	10.3089835
3200-0176_5s_f.cr	0.657013889	0.142434332	10.5667218	0.081595121	10.3190284
3200-0177_5s_f.cr	0.657152778	0.14335923	10.5165897	0.061359053	10.3150636
3200-0178_5s_f.cr	0.657280093	0.144207054	10.5656084	0.060382485	10.3118179
3200-0179_5s_f.cr	0.657418982	0.145131952	10.528656	0.053709985	10.295136
3200-0180_5s_f.cr	0.65755787	0.14605685	10.557635	0.061616865	10.328444
3200-0181_5s_f.cr	0.657696759	0.146981749	10.5495128	0.048997959	10.3078128
3200-0182_5s_f.cr	0.657824074	0.147829572	10.578328	0.090514069	10.344128
3200-0183_5s_f.cr	0.657962963	0.14875447	10.546303	0.055943679	10.2910942
3200-0184_5s_f.cr	0.658101852	0.149679369	10.529714	0.072031359	10.3045166
3200-0185_5s_f.cr	0.658240741	0.150604267	10.5566773	0.084891865	10.3256178
3200-0186_5s_f.cr	0.658368056	0.15145209	10.5493628	0.08403826	10.3298535
3200-0187_5s_f.cr	0.658506944	0.152376989	10.5731072	0.121709887	10.3453819
3200-0188_5s_f.cr	0.658645833	0.153301887	10.521817	0.053859429	10.2806605
3200-0189_5s_f.cr	0.658784722	0.154226785	10.5238766	0.05860546	10.303732
3200-0190_5s_f.cr	0.658912037	0.155074608	10.5322793	0.059730201	10.2978878
3200-0191_5s_f.cr	0.659050926	0.155999507	10.5406088	0.076690043	10.3081609
3200-0192_5s_f.cr	0.659189815	0.156924405	10.5223018	0.079191269	10.2932246
3200-0193_5s_f.cr	0.659328704	0.157849303	10.5516914	0.088713547	10.3166048
3200-0194_5s_f.cr	0.659456018	0.158697127	10.5413192	0.051864963	10.3052119
3200-0195_5s_f.cr	0.659594907	0.159622025	10.5461318	0.110939288	10.330337
3200-0196_5s_f.cr	0.659733797	0.160546923	10.513228	0.071247788	10.30846
3200-0197_5s_f.cr	0.659872685	0.161471821	10.4873612	0.078233133	10.283676
3200-0198_5s_f.cr	0.660011574	0.16239672	10.5406088	0.095255946	10.3283225
3200-0199_5s_f.cr	0.660138889	0.163244543	10.5429462	0.102390977	10.3396041
3200-0200_5s_f.cr	0.660277778	0.164169441	10.5317178	0.102459919	10.3616288
3200-0201_5s_f.cr	0.660416667	0.16509434	10.53254	0.081323822	10.313532
3200-0202_5s_f.cr	0.660555556	0.166019238	10.520529	0.055648393	10.3029495

Tabla 5.5: Datos obtenidos a partir del procesamiento de 188 imágenes del campo del asteroide Phaethon.

Nombre de la imagen	HJD- middle +2458190	Fase	Magnitud Tellervo	Error	Estrella de referencia 1	Estrella de referencia 2
2717-0001_200s_f_cr	0.713043982	0	16.052156	0.061	15.084722	15.923573
2717-0003_200s_f_cr	0.717835648	0.027296463	15.913585	0.05	14.9929228	15.9627271
2717-0004_200s_f_cr	0.720231481	0.040944695	15.849367	0.054657324	15.035512	15.876664
2717-0006_200s_f_cr	0.725011574	0.068175225	15.899134	0.060632275	15.0560086	15.8960569
2717-0007_200s_f_cr	0.727407408	0.081823456	15.8932937	0.070092913	15.018298	16.0271285
2717-0008_200s_f_cr	0.729803241	0.095471688	15.9728522	0.06061328	15.0645686	15.9234218
2717-0009_200s_f_cr	0.732199074	0.10911992	15.8218816	0.058954314	15.0139328	15.9543488

Tabla 5.6: Datos obtenidos a partir del procesamiento de 7 imágenes del campo del asteroide Tellervo, el día 12-03-18.

Nombre de la imagen	Fase	HJD- middle +2458191	Magnitud Tellervo	Error	Estrella de referencia 1	Estrella de referencia 2
2717-0001_200s_f_cr	0	0.709293982	15.6718844	0.039	14.3658998	16.2483464
2717-0002_200s_f_cr	0.013648232	0.711689815	15.781961	0.056984988	14.4144685	16.252964
2717-0003_200s_f_cr	0.027296463	0.714085648	15.753363	0.06163796	14.429229	16.243557
2717-0004_200s_f_cr	0.040944695	0.716481482	15.6174	0.04889399	14.3694	16.2504
2717-0005_200s_f_cr	0.054526993	0.718865741	15.7431136	0.056	14.3475433	16.2505009
2717-0008_200s_f_cr	0.27593164	0.757731482	15.9161898	0.07	14.4250932	15.1058334
2717-0009_200s_f_cr	0.289579872	0.760127315	15.802124	0.055	14.3646856	15.005732
2717-0010_200s_f_cr	0.303228103	0.762523148	15.8627909	0.040267515	14.406379	15.0176874
2717-0011_200s_f_cr	0.316876335	0.764918982	16.0115257	0.058	14.4037972	15.0508954

Tabla 5.7: Datos obtenidos a partir del procesamiento de 9 imágenes del campo del asteroide Tellervo, el día 13-03-18.

Nombre de la imagen	HJD- middle +2458188	Fase	Magnitud Norma	Error	Estrella de referencia 1	Estrella de referencia 2
555.120s-0001_120s_f_cr	0.641655093	0	14.8060645	0.027828688	14.416936	15.5038815
555.120s-0002_120s_f_cr	0.643125	0.0014983246855	14.811009	0.054199799	14.4209886	15.4777863
555.120s-0003_120s_f_cr	0.644594907	0.0029966493710	14.7848335	0.029233054	14.4814745	15.4980285
555.120s-0004_120s_f_cr	0.646064815	0.0044949740565	14.8261745	0.024084112	14.4440845	15.518964
555.120s-0005_120s_f_cr	0.647534722	0.0059932987420	14.8267871	0.034994545	14.4578003	15.4903682
555.180s-0001_180s_f_cr	0.651400463	0.0099337746866	14.8244824	0.049002041	14.4309002	15.4870454
555.180s-0002_180s_f_cr	0.653564815	0.0121399693023	14.8972277	0.032541098	14.470881	15.4866191
555.180s-0003_180s_f_cr	0.655729167	0.0143461639180	14.8429968	0.022436806	14.4597287	15.5544945
555.180s-0004_180s_f_cr	0.657893519	0.0165523585337	14.8120538	0.043726375	14.4217574	15.5579756
555.180s-0005_180s_f_cr	0.66005787	0.0187585531493	14.8606668	0.019326025	14.4609156	15.5426544
555.180s-0006_180s_f_cr	0.662210648	0.0209529499328	14.8563235	0.038826844	14.448755	15.5060415
555.180s-0007_180s_f_cr	0.664375	0.0231591445485	14.8216978	0.037295474	14.4337476	15.497386
555.180s-0008_180s_f_cr	0.666539352	0.0253653391642	14.82782	0.042497059	14.447348	15.467252
555.180s-0009_180s_f_cr	0.668703704	0.0275715337799	14.8035914	0.031365096	14.4326056	15.5246764
555.180s-0010_180s_f_cr	0.670868055	0.029777728	14.8593925	0.028313266	14.456989	15.482566

Tabla 5.8: Datos obtenidos a partir del procesamiento de 15 imágenes del campo del asteroide Norma, el día 10-03-18.

Nombre de la imagen	HJD- middle +2458190	Fase	Magnitud Norma	Error	Estrella de referencia 1	Estrella de referencia 2
555-0001_200s_f_cr	0.662511574	0	14.9901512	0.086413844	14.6336296	15.5736444
555-0002_200s_f_cr	0.664907408	0.002947509	14.9821604	0.0777928	14.6273696	15.6201614
555-0003_200s_f_cr	0.667303241	0.005895017	14.9911242	0.086691836	14.6586324	15.5846376
555-0004_200s_f_cr	0.6696875	0.008828287	15.0287	0.067975709	14.62391	15.55194
555-0005_200s_f_cr	0.688275463	0.031696398	15.0067725	0.079184028	14.631735	15.6767025
555-0006_200s_f_cr	0.690671296	0.034643907	15.079832	0.050347419	14.648728	15.574424
555-0007_200s_f_cr	0.69306713	0.037591415	14.9962725	0.051335975	14.600465	15.6332275
555-0008_200s_f_cr	0.695451389	0.040524685	15.000968	0.051188378	14.607113	15.615791
555-0009_200s_f_cr	0.697847222	0.043472194	15.0423849	0.08526262	14.6885706	15.6289443
555-0010_200s_f_cr	0.700243055	0.046419702	14.9944367	0.044098666	14.6014501	15.6938714

Tabla 5.9: Datos obtenidos a partir del procesamiento de 10 imágenes del campo del asteroide Norma, el día 12-03-18.

Nombre de la imagen	HJD- middle +2458225	Fase	Magnitud Norma	Error	Estrella de referencia 1	Estrella de referencia 2
555-0001_200s_f.cr	0.631226852	0	15.7023113	0.054463603	14.831174	15.8023658
555-0002_200s_f.cr	0.633622685	0.00294751	15.6625014	0.040361522	14.824218	15.8418236
555-0003_200s_f.cr	0.636006944	0.00588078	15.6273782	0.058332954	14.8248443	15.8246536
555-0004_200s_f.cr	0.638402778	0.00882829	15.7719448	0.041	14.8226678	15.814876
555-0006_200s_f.cr	0.643182871	0.01470907	15.6812428	0.041	14.841268	15.8251698
555-0010_200s_f.cr	0.652743056	0.02647062	15.7569048	0.045	14.7915473	15.8012208
555-0011_200s_f.cr	0.655462963	0.02896248	15.7005372	0.042202757	14.856014	15.8409591
555-0013_200s_f.cr	0.660243056	0.03569761	15.736845	0.061477006	14.8091248	15.868835
555-0014_200s_f.cr	0.662627315	0.03863088	15.6495084	0.056993292	14.8091248	15.8681188

Tabla 5.10: Datos obtenidos a partir del procesamiento de 9 imágenes del campo del asteroide Norma, el día 16-04-18.

Bibliografía

- [1] EW Elst, O Pizarro, C Pollas, J Ticha, M Tichy, Z Moravec, W Offutt, and BG Marsden. Comet p/1996 n2 (elst-pizarro). *International Astronomical Union Circular*, 6456:1, 1996.
- [2] Julie C Castillo-Rogez and BE Schmidt. Geophysical evolution of the themis family parent body. *Geophysical Research Letters*, 37(10), 2010.
- [3] Ignacio Ferrín. Atlas of secular light curves of comets. *Planetary and Space Science*, 58(3):365–391, 2010.
- [4] Scott S Sheppard and Chadwick Trujillo. Discovery and characteristics of the rapidly rotating active asteroid (62412) 2000 sy178 in the main belt. *The Astronomical Journal*, 149(2):44, 2015.
- [5] Michael Küppers, Laurence ORourke, Dominique Bockelée-Morvan, Vladimir Zakharov, Seungwon Lee, Paul von Allmen, Benoît Carry, David Teyssier, Anthony Marston, Thomas Müller, et al. Localized sources of water vapour on the dwarf planet (1)[thinsp]ceres. *Nature*, 505(7484):525–527, 2014.
- [6] Scott S Sheppard and David Jewitt. Extreme kuiper belt object 2001 qq298 and the fraction of contact binaries. *The Astronomical Journal*, 127(5):3023, 2004.
- [7] William F Bottke, Michael C Nolan, Richard Greenberg, and Robert A Kolvoord. Velocity distributions among colliding asteroids. *Icarus*, 107(2):255–268, 1994.
- [8] Kevin R Housen and Keith A Holsapple. Ejecta from impact craters. *Icarus*, 211(1):856–875, 2011.
- [9] Bin Yang and Henry Hsieh. Near-infrared observations of comet-like asteroid (596) scheila. *The Astrophysical Journal Letters*, 737(2):L39, 2011.
- [10] L Kresak. On the similarity of orbits of associated comets, asteroids and meteoroids. *Bulletin of the Astronomical Institutes of Czechoslovakia*, 33:104–110, 1982.
- [11] H Kosai. Short-period comets and apollo-amor-aten type asteroids in view of tisserand invariant. *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy*, 54(1-3):237–240, 1992.

- [12] L Kamel. The comet light curve atlas. the comet light curve catalogue/atlas. iii-the atlas. *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 92:85–149, 1992.
- [13] Ignacio Ferrín, Martín Pérez, and Juan Rendón. Secular light curves of 25 members of the themis family of asteroids, suspected of low level cometary activity. *Planetary and Space Science*, 137:52–63, 2017.
- [14] GS Da Costa. Basic photometry techniques. In *Astronomical CCD Observing and Reduction Techniques*, volume 23, page 90, 1992.
- [15] HL Johnson and WW Morgan. Fundamental stellar photometry for standards of spectral type on the revised system of the yerkes spectral atlas. *The Astrophysical Journal*, 117:313, 1953.
- [16] Petr Pravec and Gerhard Hahn. Two-period lightcurve of 1994 aw1: Indication of a binary asteroid? *Icarus*, 127(2):431–440, 1997.
- [17] Mikko Kaasalainen. Interpretation of lightcurves of precessing asteroids. *Astronomy & Astrophysics*, 376(1):302–309, 2001.
- [18] Yu N Krugly. Problems of ccd photometry of fast-moving asteroids. *Solar System Research*, 38(3):241–248, 2004.
- [19] Kenneth A Janes and JN Heasley. Stellar photometry software. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 105(687):527, 1993.
- [20] Meade Instruments Corporation. *Instruction Manual*. MEADE, 2003.
- [21] James R Janesick et al. *Scientific charge-coupled devices*, volume 117. SPIE press Bellingham, 2001.
- [22] Ian S McLean. *Electronic imaging in astronomy: detectors and instrumentation*. Springer Science & Business Media, 2008.
- [23] Santa Barbara Instrument Group. *Model ST-8300M/C CCD Camera Operating Manual*. SBIG, 2009.
- [24] Santa Barbara Instrument Group. *Model ST-i CCD Camera Operating Manual*. SBIG, 2009.
- [25] Santa Barbara Instrument Group. *SBIGs AO-7 Adaptive Optics Accessory Operating Manual*. SBIG, 2009.
- [26] Joel Stebbins and FC Brown. A determination of the moon’s light with a selenium photometer. *The Astrophysical Journal*, 26:326, 1907.
- [27] J Palmer and AC Davenhall. The ccd photometric calibration cookbook. *Starlink Cookbook*, 6, 2001.

- [28] Marcel Golay. *Introduction to astronomical photometry*, volume 41. Springer Science & Business Media, 2012.
- [29] M Carmen Casas Castillo and Marta Alarcón Jordán. *Meteorología y clima*, volume 79. Univ. Politèc. de Catalunya, 1999.